

Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica



Análisis dinámico de una horquilla monobrazo para bicicletas de descenso

Autor: Sergio Gómez Moratalla

Tutor: José Antonio Calvo Ramos



Universidad
Carlos III de Madrid

Estudio dinámico de una horquilla
monobrazo de bicicleta de montaña

1 Resumen

El presente proyecto de fin de carrera tiene como objetivo el diseño de una horquilla para bicicletas de montaña dotada de suspensión telescópica de tipo monobrazo para un uso previsto en modalidad de descenso y la aplicación de los ensayos de seguridad de la normativa pertinente.

A diferencia de las suspensiones delanteras de bicicleta convencionales donde se utilizan dos botellas donde ubicar la suspensión, este proyecto considera la opción de utilizar solamente una botella, es decir, utilizar una horquilla de un solo brazo. Además este diseño cuenta con una geometría de tipo invertida. Por ello se ha realizado un diseño CAD de cada componente que equipa la suspensión delantera cumpliendo con este requisito geométrico.

En una horquilla de esta geometría se pueden encontrar beneficios como la suavidad en su respuesta gracias al uso de tiras de rodamientos de aguja y al hecho de ser una horquilla invertida, capacidad de absorción por disponer de 200mm de recorrido, y ligereza, pues con un solo brazo se ahorra en material. Todo ello hace que este diseño de horquilla disponga de las mejores características técnicas del mercado.

Tras el diseño se ha realizado un estudio estructural que abarca diversos ensayos simulados con un programa de elementos finitos. Dichos ensayos forman parte de la Normativa europea *EN UNE 2410:2015 Requisitos de seguridad para bicicletas*, imprescindible para obtener el marcado CE. Dentro de la norma se incluyen distintos ensayos que comprueban el comportamiento de cada elemento de una bicicleta, incluyendo el cálculo estructural de las horquillas de montaña. El cumplimiento de dichos ensayos comprueba la validez del diseño para su uso comercial.

2 Abstract

This project has the objective of designing a bike fork equipped with telescopic suspension single arm type for use in Downhill competition and the application of safety testing of the relevant legislation.

Unlike conventional bike front suspension where two bottles where to locate the suspension is used, this project considers the option of using only one bottle, that is to say, use one arm fork. Furthermore, this design has an inverted geometry type. Therefore there has been a CAD design of each component fitted to the front suspension geometry meeting this requirement.

In a fork of this geometry can be found benefits such as softness in its response through the use of strips of needle bearings and being an inverted fork, absorption capacity by having 200mm of travel, and lightness, as a single arm saves on material. All this makes this fork design the best techniques available market characteristics.

After the design has been a structural study covering different test simulated with finite element program (FEM). These tests are part of the European Standard EN UNE 2410: 2015: Safety requirements for bicycles, essential to obtain the CE marking. Within the different standard tests that verify the behavior of each element of a bicycle, structural calculation mountain forks they are included. Compliance with these tests check the validity of the design for commercial use.

Índice

1	Resumen.....	2
2	Abstract	3
3	Índice de figuras	6
4	Índice de tablas	9
5	Objetivos	10
5.1	Diseño.....	10
5.2	Estudio estructural	10
5.3	Peso	10
6	Introducción	11
6.1	Estado del arte	11
6.1.1	Historia de la bicicleta	11
6.2	Historia de la suspensión	17
6.3	Sentido físico de la suspensión	19
6.4	Componentes de la suspensión	19
6.4.1	Neumáticos	19
6.4.2	-Elemento elástico o resorte	20
6.4.3	Amortiguador	24
6.5	Normativa para bicicletas de montaña EN UNE 2410:2015.....	26
7	Fases.....	27
7.1	Pre Diseño	27
7.1.1	Monobrazo	27
7.1.2	Horquilla invertida.....	29
7.1.3	Doble pletina	30
7.1.4	Dimensión de rueda	31
7.2	Geometría	34
7.2.1	Offset.....	34
7.2.2	Recorrido	34
7.2.3	Angulo de dirección.....	34
7.3	Parámetros ajustables.....	36
7.3.1	Precarga.....	36
7.3.2	Rebote	36
7.3.3	Compresión	37



7.3.4	Recorrido	37
7.4	Materiales utilizados	39
7.4.1	Aluminio	39
8	Desarrollo	42
8.1	Diseño	42
8.1.1	Software	42
8.1.2	Conjunto	42
8.1.3	Componentes	43
8.2	Estudio de parámetros	52
8.3	Precarga	52
8.4	Constante de rigidez	53
8.5	Cálculo	56
8.5.1	Ensayos de la normativa para marcado CE	56
9	Resultados	88
10	Presupuesto	89
10.1	Control de dedicación	89
10.2	Herramientas y materiales empleados	90
10.3	Presupuesto general	90
11	Conclusiones	92
12	Desarrollo futuro	93
12.1	Ensayos complementarios de la Norma UNE EN 2410	93
12.2	Estudio fluido-neumático	93
13	Bibliografía	94
14	Anexo B: Norma EN UNE 2410	96
15	Anexo A: Planos	114



3 Índice de figuras

Figura 1.	Celerífero	12
Figura 2.	Draisiana	12
Figura 3.	Velocíped	13
Figura 4.	Bicicleta High Wheeler	13
Figura 5.	Safety bicycle de Rover	14
Figura 6.	Specialized Stumpjumper	15
Figura 7.	Amortiguador diseñado por Truffault	18
Figura 8.	Resorte en espiral	22
Figura 9.	Progresividad lineal del muelle	23
Figura 10.	Croquis componentes de un cilindro neumático	23
Figura 11.	Sistema amortiguado	24
Figura 12.	Botella y tubo rectificadas con sección cuadrada	28
Figura 13.	Tiras de rodamientos de aguja	29
Figura 14.	Pletina individual frente a doble pletina	30
Figura 15.	Orientación de las pletinas	31
Figura 16.	Distancia máxima de la pletina a la rueda	32
Figura 17.	Avance de la horquilla	34
Figura 18.	Horquilla completa	42
Figura 19.	Horquilla completa. Vista de sección	43
Figura 20.	Botella (TFG_01_000)	44
Figura 21.	Botella. Vista de sección	44
Figura 22.	Tubo (TFG_02_000)	45
Figura 23.	Tubo. Detalle del eje y acople de freno	45
Figura 24.	Orientación de las pletinas	46
Figura 25.	Pletina inferior (TFG_05_000)	46
Figura 26.	Pletina superior (TFG_06_000)	47
Figura 27.	Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista de componentes explosionada	47
Figura 28.	Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista general	48
Figura 29.	Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista de sección	49
Figura 30.	Válvula de compresión	50
Figura 31.	Válvula de rebote (TFG_03_100)	50
Figura 32.	Válvula de rebote. Orificios de paso en compresión y rebote	51
Figura 33.	Lamina de Rodamientos (TFG_04_000)	51
Figura 34.	Precarga	53
Figura 35.	Gráfico de constante de rigidez	54
Figura 36.	Constante de rigidez, primer tramo 0-150mm	55
Figura 37.	Tope a tracción. Zona de contacto (azul)	56
Figura 38.	Modelo simplificado para el ensayo de tracción. Vista de sección	57
Figura 39.	Empotramiento de las pletinas (zona azul)	57
Figura 40.	Superficie de aplicación de las fuerzas en los ensayos	58
Figura 41.	Calidad nodal de la malla	58
Figura 42.	Detalle de mallado	59



Figura 43. Ensayo de tracción. Tensión equivalente de Von Misses.....	59
Figura 44. Ensayo de tracción. Tensión equivalente de Von Misses, detalle de tensión máxima.....	60
Figura 45. Ensayo de tracción. Desplazamientos.....	60
Figura 46. Ensayo de tracción. Factor de seguridad.....	61
Figura 47. Horquilla delantera. Ensayo estático de flexión (montaje típico).....	62
Figura 48. Ensayo a flexión. Tensión equivalente de Von Misses.....	64
Figura 49 Ensayo a flexión. Tensión equivalente de Von Misses, detalle de tensión máxima ...	64
Figura 50. Ensayo a flexión. Desplazamientos.....	65
Figura 51. Ensayo a flexión. Coeficiente de seguridad.....	65
Figura 52. Esquema Método de ensayo I.....	67
Figura 53. Ensayo de choque trasero, método 1 con carga apoyada. Tensión equivalente de Von Misses.....	68
Figura 54. Ensayo de choque trasero, método 1 con carga apoyada. Desplazamientos.....	68
Figura 55. Ensayo choque trasero, método 1 con carga de impacto. Tensión equivalente de Von Misses.....	70
Figura 56. Ensayo choque trasero, método 1 con carga de impacto. Desplazamientos.....	70
Figura 57. Ensayo choque trasero, método 2. Tensión equivalente de Von Misses.....	72
Figura 58. Ensayo choque trasero, método 2. Desplazamientos.....	72
Figura 59. Horquilla para freno de tambor/disco. Ensayo estático de par de frenado.....	73
Figura 60 Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Misses.....	74
Figura 61. Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Misses detalle de zona de aplicación.....	74
Figura 62. Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Misses, detalle tensión máxima.....	75
Figura 63 Ensayo choque trasero, método 3. Desplazamientos.....	75
Figura 64. Ensayo choque trasero, método 3. Coeficiente de seguridad.....	75
Figura 65. Ensayo de fatiga por flexión.....	76
Figura 66. Ensayo de fatiga por flexión. Tensión equivalente de Von Misses.....	77
Figura 67. Ensayo de fatiga por flexión. Tensión equivalente de Von Misses. Vista de detalle.....	78
Figura 68. Ensayo de fatiga por flexión. Desplazamientos.....	78
Figura 69. Ensayo de fatiga por flexión. Ciclos de vida.....	79
Figura 70. Ensayo de fatiga por flexión. Zona de rotura por fatiga.....	79
Figura 71. Ensayo estático de par de frenada.....	80
Figura 72. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Misses.....	81
Figura 73. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Misses, tensión máxima.....	82
Figura 74. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Misses, detalle de zona de aplicación.....	82
Figura 75. Ensayo estático de par de frenada. Coeficiente de seguridad.....	83
Figura 76. Ensayo estático de par de frenada. Desplazamientos.....	83
Figura 77. Ensayo de fatiga de la fijación del freno.....	84
Figura 78. Ensayo de fatiga de par de frenada. Tensión equivalente de Von Misses.....	85



Figura 79. Ensayo de fatiga de par de frenada. Tensión equivalente de Von Misses, detalle de tensión máxima.....	86
Figura 80. Ensayo de fatiga de par de frenada. Desplazamientos.....	86
Figura 81. Ensayo de fatiga de par de frenada. Ciclos de vida.....	87
Figura 82. Ensayo de fatiga de par de frenada. Ciclos de vida, zona de rotura.....	87



4 Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio	39
Tabla 2. Propiedades aluminios	40
Tabla 3. Composición AL 7075	41
Tabla 4. Propiedades mecánicas AL 7075-T6.....	41
Tabla 5. Especificaciones horquilla.....	42
Tabla 6. Fuerzas en el soporte de la carga	62
Tabla 7. Datos ensayo de flexión.....	63
Tabla 8. Altura de caída h_a en función del tipo de bicicleta	66
Tabla 9. Par en la horquilla.....	73
Tabla 10. Fuerzas en el soporte de la carga	76
Tabla 11. Longitud del dispositivo de fijación	80
Tabla 12. Ensayo de fatiga en la fijación del freno. Número de ciclos.....	84
Tabla 13. Resumen de resultados	88
Tabla 14. Presupuesto de personal.....	89
Tabla 15. Desglose presupuesto de material	90
Tabla 16. Presupuesto final	91



5 Objetivos

El presente proyecto está enfocado en realizar una horquilla para bicicletas de montaña con geometría monobrazo apta para su uso en competición de Descenso y que cumpla los requisitos legales y técnicos establecidos en materia de seguridad por los Estados miembros de la Unión Europea. Para ello se diseñarán la totalidad de las piezas que compondrán la suspensión para más tarde realizar un estudio estructural del diseño acorde con la normativa europea aplicable. Como consecuencia se determinarán distintos objetivos desarrollados a continuación.

5.1 Diseño

La horquilla a diseñar deberá ser de tipo monobrazo, es decir, solamente utilizar una botella y un tubo en la suspensión. De esta forma la horquilla montada en la bicicleta quedará solamente a un lado de la rueda, quedando el otro totalmente libre.

Dado que solamente se va a utilizar un brazo y al ser una horquilla telescópica, se debe encontrar una solución tecnológica ante la torsión producida en la rueda.

La horquilla como ya se ha comentado debe ser apta para su uso en competiciones de descenso, por tanto una característica principal será el recorrido de la suspensión.

5.2 Estudio estructural

Para el correcto comercio dentro de la Unión Europea es imprescindible el cumplimiento de la normativa europea, la Norma EN UNE 4810. Con ello se establecen unos requisitos de seguridad del diseño mínimos, e indica la correcta construcción y calidad del producto.

5.3 Peso

En el mundo del ciclismo el peso se puede traducir en victoria. Los fabricantes luchan por conseguir el producto más ligero posible sin comprometer la fiabilidad. Una horquilla con suspensión supone un gran porcentaje del peso total de la bicicleta, por ello otro objetivo principal será mantener un peso reducido del componente, no mayor a 2kg.

6 Introducción

En la actualidad es impensable concebir una bicicleta dedicada para un uso en montaña sin algún sistema de suspensión. Décadas de desarrollo tecnológico ha permitido un avance tanto en diseño como en tecnología aplicada en cada componente de la bicicleta actual.

Denominamos suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos y no suspendidos. Existen otros elementos con misión amortiguadora, como son los neumáticos y los asientos. Los elementos de la suspensión han de ser lo suficientemente resistentes y elásticos para aguantar las cargas a que se ven sometidos sin que se produzcan deformaciones permanentes ni roturas y también para que el vehículo no pierda adherencia con el suelo.

A continuación se realizará un breve resumen de la evolución de la bicicleta hasta el presente y la evolución de la suspensión como medio de confort. También se determinarán los componentes que forman parte de la suspensión de la bicicleta y de la norma europea de requisitos de seguridad en bicicletas.

6.1 Estado del arte

6.1.1 Historia de la bicicleta

La historia de la bicicleta no comienza hasta que en 1790 el Conde Mede de Sivrac inventó el "celerífero", una máquina para moverse consistente en dos ruedas alineadas, conectadas por una barra sobre la cual se montaba el deportista a horcajadas, impulsándose con los pies. El celerífero, mostrado en la Figura 1, no era más que un juguete muy parecido a los correcales utilizados actualmente por niños de corta edad. No disponía de dirección, por lo que solo se podía avanzar o retroceder en una única dirección.



Figura 1. Celerífero

No fue hasta 1817 el ingeniero alemán Karl Von Drais quien adaptando la ingeniería aplicada a los vehículos le adaptará una dirección. Estas modificaciones darán origen a la llamada "Draisiana" la cual, sin embargo, aun pareciéndose más a las bicicletas actuales era impulsada por el arrastre de los pies sobre el suelo (véase Figura 2). La Draisiana se inventó con el fin de poder caminar sentado y hacer el menor esfuerzo posible.

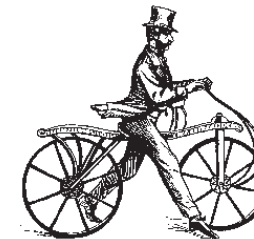


Figura 2. Draisiana

Los pedales (*pédivelle* como lo bautizaron los inventores) como mecanismos para impulsar una rueda son obra de Pierre Michaux y su hijo Ernesto que en 1861 crean un velocípedo con tracción delantera mediante unas bielas fijas en el eje de la rueda. De esta manera permitía alcanzar 5 km/h haciendo 30 vueltas de pedal por minuto, inalcanzable con la *Draisiana*. Este nuevo vehículo fue bautizado como *Velocíped* y dio comienzo a la industria de los velocípedos. Los cambios acaecidos durante los años siguientes fueron básicamente agrandar la rueda delantera ya que al ser una transmisión directa cuando más grande era la rueda más se avanzaba a cada pedaleada. A su vez, la rueda trasera era cada vez más pequeña para quitarle peso al velocípedo.



Figura 3. Velociped

Los ingleses avanzando con la idea entre 1865 y en 1870 agrandaron la rueda delantera hasta crea la llamada Bi o "High Wheeler". El objetivo es conseguir más velocidad con menos peso, pero también con un menor equilibrio. Sin embargo, con una rueda de 1,40 m de diámetro se avanzaba 4,40 m por pedaleada y si era de 1,70 m la distancia recorrida subía a 8,40 m. En esta loca escalada el récord lo ostenta Victor Renard quién colocó a 2,50 m de altura sobre el suelo al ciclista en una rueda que permitía avanzar 12,25 m por pedaleada. La inestabilidad debida a la altura no facilitó que fuera usada como vehículo de desplazamiento, aunque si como deporte. Los fabricantes para homogenizar estas bicicletas estandarizaron la rueda delantera a un diámetro de 1,2 metros y las traseras de 40 centímetros. Hacia 1880 en el Reino Unido ya circulaba la palabra *bicycle* para denominar este vehículo.



Figura 4. Bicicleta High Wheeler

Otras mejoras importantes que se incorporaron a la bicicleta fueron el rodamiento con neumáticos. Así en 1888 John Boyd Dunlop sustituyó las bandas de caucho macizo de las ruedas por el neumático hinchado que facilitaba un rodaje más cómodo y rápido. Mientras en Francia,

los hermanos Michelin crearon un neumático desmontable, en Italia Giovanni Battista Pirelli hizo lo propio. Con el neumático de caucho y unas cuantas cámaras de recambio se podía ir a todas partes. Las bicicletas pesaban para entonces entre 18 y 20 kilos. Los frenos de zapata para detener las ruedas aparecerán en 1893.

El invento que comportará el lanzamiento de la bicicleta como vehículo para desplazarse será la transmisión por cadena entre dos engranajes (el plato y el piñón). Esta nueva incorporación es obra del francés Guilmet y del británico Harry John Lawson aproximadamente en 1879, aunque no se producirá como modelo hasta 1884. En esta fecha también aparece la primera bicicleta con transmisión a cadena con las dos ruedas iguales obra de John Kemp Starley conocida como Rover Safety Bicycle. Sin duda, este modelo debe considerarse el precursor de la forma de la bicicleta moderna, y fue bautizada como "bicicleta segura".



Figura 5. Safety bicycle de Rover

Toda la evolución de las bicicletas actuales se debe a la Rover de 1885 y, sin duda, J.K. Starley debe considerarse el padre de la moderna producción de bicicletas desde su compañía The Rover Company. A partir de este diseño se ha cambiado la estructura central, también llamada cuadro, y varían dimensiones totales para hacer la bicicleta lo más ergonómica posible, como pueden ser la altura del sillín distancia del sillín a los pedales o la altura del manillar entre otras.

Creación de un nuevo deporte: el mountain bike

Se puede decir que John Finley Scott, es el pionero en cuanto a lo que el ciclismo de montaña representa. En 1953 modificó una bicicleta Schwinn para moverse más fácilmente por la montaña, colocando unas cubiertas de mayor tamaño, frenos más potentes y añadiendo velocidades, a la que bautizó con el nombre de “Woodsie” y que seguramente sea la primera bicicleta de montaña que ha existido.

Tuvieron que pasar 20 años para que un grupo de jóvenes ciclistas que se hacía llamar “The Canyon Gang”, formado por Tom Slifka, John York, Kim Kraft y Robert, se dedicaran a realizar carreras de bicis en el monte “Tamalpais”, localidad californiana de Santa Barbara. Pero las bicicletas utilizadas no eran ninguna novedad porque eran de bici cross, modelos muy comunes en Europa.

En 1976, otro grupo de aficionados a la bicicleta formado por Joe Breeze, Charlie Kelly, Gary Fisher y Tom Ritchey, tuvieron la idea de montar ruedas y cubiertas más anchas a sus antiguas Schwinn Excelsiors, consiguiendo más estabilidad y un mejor control de la bici en terrenos abruptos, consiguiendo de esta manera ser los más veloces en las carreras de montaña. El joven Breeze fabricó su propia bicicleta de montaña de forma artesanal, basándose en su antigua Excelsiors. Esto gustó a su compañero Fisher, el cual pidió a Ritchey que le fabricara una igual.

No fue hasta 1981 cuando Mike Sinyard, creador de la famosa marca de bicicletas *Specialized*, diseñó el modelo “*Stumpjumper*”, la primera bicicleta de montaña fabricada en serie que se vendía en todo el mundo. En dos semanas habían vendido las 5.000 unidades fabricadas.



Figura 6. *Specialized Stumpjumper*

En 1987 se introdujo comercialmente la primera bicicleta con suspensión delantera por la compañía Trek, y con la guerra de tecnología y comercialización Trek también presentó en 1990 la primera bicicleta con doble suspensión con unos 20 Kgs de peso. A partir de este momento salen al mercado varias marcas especializadas en el diseño de suspensiones específicas para bicicletas como pueden ser Rock –Shox, Fox Racing o Marzxonchi.

6.2 Historia de la suspensión

Desarrollada primeramente en el sector de la automoción, el concepto de suspensión se empezó a aplicar en la fabricación de carretas tiradas por caballos. Una preocupación de los fabricantes de carruajes fue tratar de hacer más cómodos los vehículos de pasajeros. En una época donde los carros circulaban por caminos de tierra producidos por el propio uso de los carros o por rutas empedradas. Al ser el carruaje una estructura rígida, toda irregularidad del terreno se percibía con la misma intensidad sobre los pasajeros, puesto que aún no se había incorporado ningún elemento que absorbiese dichos esfuerzos.

El primer intento de lograr una suspensión fue colgar la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal que venían de los ejes, de modo que el carruaje quedaba suspendido por cuatro soportes y cuatro correas. El resultado fue que aunque los golpes del rodaje eran parcialmente absorbidos por tal sistema, al no tener un elemento que regulase el movimiento el carruaje se mecía y bamboleaba sin control, añadiendo sensaciones mareo. Sin embargo, en estricto sentido, ahí nació el concepto de suspensión: un medio elástico que además de sostener la carrocería asimile las irregularidades del camino.

En la medida en que las suspensiones evolucionaron y fueron haciéndose más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se entiende porque las ruedas de gran diámetro reducían el efecto de las irregularidades del camino; las ruedas pequeñas las registraban más debido a que entraban en los hoyos en mayor proporción.

En 1898, el ciclista francés J.M.M. Truffault introdujo el primer amortiguador en su bicicleta. Consistía en una suspensión en la horquilla delantera con muelles y un dispositivo de fricción que minimiza las vibraciones. En 1899, un norteamericano aficionado a los automóviles, llamado Edward V. Hartford, vio que una de las bicicletas de Truffault llegaba en primer lugar en una maratón celebrada en Versalles. Hartford de inmediato reconoció el potencial para la aplicación de este dispositivo de fricción en los automóviles. El próximo año, Truffault y americano auto entusiasta Edward Harford colaboraron en el primer amortiguador ajustable. A partir de ese momento se crearon una multitud de tipos de suspensión alternativa, todas orientadas al automóvil, puesto que era el vehículo más usado en la época y por su peso requería con mayor celeridad adaptar una suspensión para mejorar la comodidad de su uso.

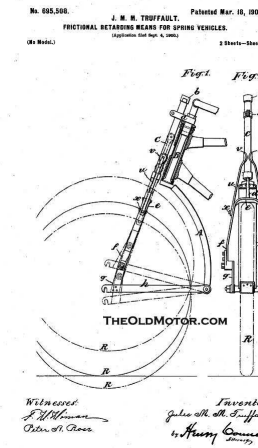


Figura 7. Amortiguador diseñado por Truffault

El amortiguador hidráulico se le atribuye a M. Houdaille, de Francia, quien diseñó el primer amortiguador de impactos hidráulicos práctico en el año de 1908. Estos amortiguadores hidráulicos reducen las oscilaciones de los muelles, al forzar la entrada de líquidos por unos conductos pequeños.

La unión del amortiguador a la bicicleta no se dio hasta entrada la primera Guerra Mundial, donde la infantería de alta movilidad italiana utilizaba bicicletas plegables para trasladarse. Estas bicicletas llevaban ruedas macizas sin balón por lo que se las incorporó resortes a cada lado de la horquilla delantera. Comercialmente las bicicletas no incorporarán suspensión hasta 1987 como ya se ha comentado anteriormente.

6.3 Sentido físico de la suspensión

La necesidad de incorporar la suspensión en una bicicleta de montaña se hace presente cuando se circula por terreno no es lineal. El objetivo de la suspensión es:

- Mantener las ruedas siempre en contacto con el suelo y así asegurar la capacidad de dirección.
- Búsqueda del confort absorbiendo las imperfecciones del firme.

Para ello se contará con una suspensión con unas funciones entre las que destacan las siguientes:

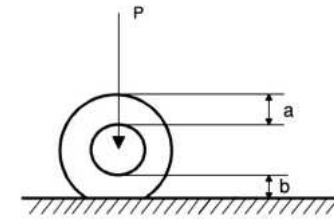
- Soporta la carga del vehículo
- Mantiene la altura idónea del vehículo
- Mantiene la adherencia del neumático al suelo
- Ayuda a controlar la dirección
- Reduce las fuerzas generadas por las irregularidades del camino.
- Controla el movimiento de la bicicleta (cabecceo)
- Previene el desgaste prematuro del neumático

6.4 Componentes de la suspensión

6.4.1 Neumáticos

Muchas veces se pasa por alto que el propio neumático es parte del sistema de suspensión de los vehículos.

Un método simplificado de la determinación de la constante de rigidez equivalente de un neumático consiste en la siguiente expresión:



$$K_{\text{neumático}} = \frac{P}{(a - b)}$$

Ecuación 1

Dónde:

$K_{\text{neumático}}$ = Rigidez vertical equivalente del neumático (N/m)

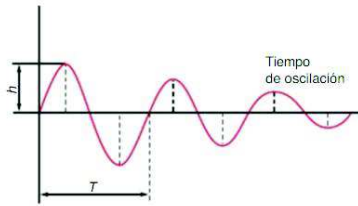
P= Fuerza soportada por el neumático (N)

a= espesor del neumático en su zona no deformada (m)

b =Espesor del neumático en su zona deformada (m)

6.4.2 -Elemento elástico o resorte

El principal componente de las suspensiones es el resorte. Éste tiene la capacidad de absorber la carga que se genera al pasar por un resalto, esto es, la energía en forma de movimiento vertical que provocan las irregularidades del terreno. Como desventaja, el elemento al ser, como su nombre indica, elástico, tiende a no almacenar la energía absorbida y la devuelve en forma de movimiento. Esto genera oscilaciones que siguen el patrón de movimiento armónico simple a excepción de que por efecto del rozamiento el movimiento termina deteniéndose.



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$$

Ecuación 2

Siendo:

T = Período, o tiempo de oscilación (s)

h = Deformación producida (m)

g = gravedad (9.81m/s²)

Sabiendo que el coeficiente elástico es $K = \frac{P}{h}$ conociendo la carga del resorte (P) y la deformación provocada (h), obtenemos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Ecuación 3

Al ser la frecuencia la inversa del periodo:

$$T = \frac{1}{f}$$

Ecuación 4

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Ecuación 5

La propiedad característica de los elementos elásticos es la rigidez. La rigidez es la oposición del material a sufrir deformaciones. A continuación se exponen los elementos elásticos más utilizados en los mecanismos de suspensión.

6.4.2.1 Resorte en espiral o muelle

Es el más utilizado por su versatilidad. Tiene la capacidad de resistir grandes cargas

Su rigidez depende de su propia geometría (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Sus variables son el diámetro medio del resorte, diámetro del hilo, número de espiras altura inicial y material utilizado.

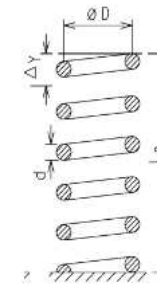


Figura 8. Resorte en espiral

La constante de rigidez (K) esta determinada por lo tanto por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Gd^4}{8ND^3}$$

Ecuación 6

En la Figura 9 se muestra la gráfica que determina la progresividad de la constante de rigidez en función del desplazamiento.

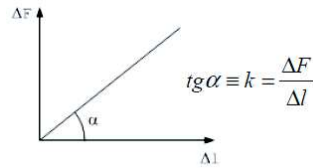


Figura 9. Progresividad lineal del muelle

6.4.2.2 Resorte de aire

Se trata de un cilindro neumático que trabaja con gas a una determinada presión inicial. El diseño básico se muestra en la Figura 10. Al aplicar una fuerza en el vástago, se produce el movimiento de compresión donde el émbolo comprime el gas en el interior de la cámara. Cuando se libera la carga se produce el consiguiente rebote del émbolo por acción del gas al expandirse.

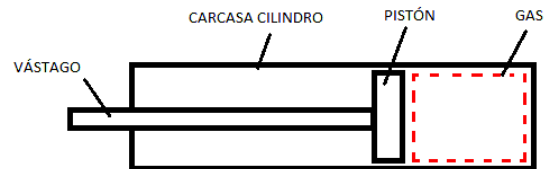


Figura 10. Croquis componentes de un cilindro neumático

Una horquilla para un uso exclusivo de descenso trabaja con presiones iniciales de 30 a 100 psi. Estos son meros datos orientativos, pues la presión dependerá del peso del ciclista y la geometría interna del cilindro neumático.

La rigidez es una medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones. La constante de rigidez se calcula como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

$$K = \frac{F}{\delta}$$

Ecuación 7

En los resortes de aire se debe tener en cuenta la progresividad de estos. Mientras los muelles pueden considerarse un comportamiento lineal, es decir, su rigidez no cambia con el desplazamiento producido, los cilindros neumáticos al funcionar en función de la presión acumulada su constante de rigidez se asemeja a una curva exponencial.

6.4.3 Amortiguador

Para contrarrestar los efectos negativos del elemento elástico, se utiliza un amortiguador hidráulico. Éste no es más que un cilindro de doble efecto donde el fluido de trabajo puede ser desde gas licuado hasta aceite. Como consecuencia, el resultado es un sistema de un resorte y un amortiguador actuando en paralelo como se muestra en la Figura 11

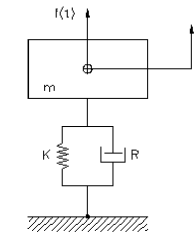


Figura 11. Sistema amortiguado

La ecuación del movimiento del sistema es:

$$M\ddot{x} + R\dot{x} + Kx = F(t)$$

Ecuación 8

Anulando la excitación, es decir, haciendo $F(t) = 0$, la ecuación queda de forma homogénea y puede resolverse:

$$M\ddot{x} + R\dot{x} + Kx = F(t)$$

Ecuación 9

Partiendo de la teoría de las ecuaciones diferenciales puede asumirse que la solución de la ecuación es del tipo $x = X \cdot e^{wt}$, donde es una constante que es necesario determinar.

Obteniendo las derivadas \ddot{x} , \dot{x} y sustituyendo:

$$(M \cdot \omega^2 + R \cdot \omega + K) \cdot X \cdot e^{wt} = 0 \quad \text{Ecuación 10}$$

La solución no trivial de esta ecuación se obtendrá haciendo:

$$M \cdot \omega^2 + R \cdot \omega + K = 0 \quad \text{Ecuación 11}$$

O lo que es lo mismo:

$$\omega^2 + \omega \frac{R}{M} + \frac{K}{M} = 0 \quad \text{Ecuación 12}$$

A esta ecuación se la denomina ecuación característica del sistema y sus ecuaciones ω_1 y ω_2 son:

$$\omega_{1,2} = -\frac{R}{2M} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Por otra parte la de la ecuación:

$$M \cdot \omega^2 + R \cdot \omega + K = 0 \quad \text{Ecuación 14}$$

Es:

$$x(t) = Ae^{\omega_1 t} + Be^{\omega_2 t} \quad \text{Ecuación 15}$$

Sustituyendo en esta ecuación los valores de ω_1 y ω_2 :

$$x(t) = e^{-\left(\frac{R}{2M}t\right)} [Ae^{It} + Be^{-It}] \quad \text{Ecuación 16}$$

Siendo:

$$I = \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}} \quad \text{Ecuación 17}$$

6.5 Normativa para bicicletas de montaña EN UNE 2410:2015

Para la correcta comercialización del prototipo de horquilla monobrazo con la aprobación del mercado europeo y consiguientemente el marcado CE, es necesario realizar diferentes ensayos acorde con la norma ISO EN UNE 2410 vigente desde 2015. Estos ensayos son los siguientes:

1. Ensayo de tracción para una horquilla no soldada
2. Ensayo estático de flexión
3. Ensayo de choque trasero
4. Ensayo de fatiga por flexión y ensayo de choque hacia atrás
5. Horquilla para freno de disco/tambor. Ensayo estático de par de frenada
6. Horquilla para freno de disco/tambor. Ensayo de fatiga de par de frenada

Aparte existen ensayos adicionales a fin de comprobar la solidez estructural de la bicicleta completa que también competen a la horquilla, pero dado que el alcance del proyecto se enfoca específicamente en el diseño de la horquilla en solitario no será necesario efectuar dichos ensayos.

7 Fases

7.1 Pre Diseño

La horquilla se contemplará como una pieza destinada exclusivamente al uso en competición de modalidad Descenso inspirada en la horquilla Lefy de Cannondale. Con 160mm de recorrido ésta horquilla comercial está enfocada a pruebas de modalidad Enduro, donde los circuitos se componen de tanto tramos de ascenso como descenso. El enduro es la categoría más parecida al descenso, por compartir esos tramos de bajada, aunque en el caso del enduro son tramos con menor pendiente, por lo que la bicicleta no es necesario que disponga de un grupo de suspensión con tanto recorrido como en el caso del Descenso. A continuación se especificarán los requisitos necesarios de la horquilla y aspectos geométricos a tener en cuenta antes de diseñar su versión final.

7.1.1 Monobrazo

Este es el principal requisito de diseño, por el cual se deberán modificar numerosas piezas para hacerlo posible. El diseño de esta horquilla se diferencia a simple vista, al disponer de un solo brazo en vez de dos. En la actualidad Cannondale es la única marca que comercializa una horquilla monobrazo, llamada Lefty. Aparte del característico aspecto visual, existen diferencias importantes entre las horquillas convencionales y una monobrazo.

Las horquillas de dos brazos basan su tecnología en el diseño tradicional, heredado de las horquillas sin suspensión. Estos modelos al tener dos brazos, pueden alojar con más facilidad las botellas de la suspensión. No tienen problemas de torsión ni rotación pues están conectadas a través del buje por la parte inferior y por la pletina en su parte superior.

Por otro lado estas horquillas utilizan 2 cojinetes de fricción en cada brazo para mantener el tubo conectado con la botella, con lo que se añade una fuerza de fricción al movimiento de la horquilla no deseado. Ésta es la llamada configuración de fricción en 4 puntos. Otra desventaja que se produce al utilizar los casquillos de fricción es la penalización en el funcionamiento que se produce cuando una fuerza incide de forma perpendicular a la horquilla. La horquilla al absorber la carga se deforma elásticamente a flexión. Esta deformación hace que botella y tubo queden parcialmente bloqueados y de esta forma se impida el movimiento y con ello la amortiguación. La horquilla monobrazo evita esta situación, puesto que no utiliza casquillos de fricción, éstos son sustituidos por un juego de cuatro tiras de rodamientos de agujas y un solo

casquillo en su parte inferior, haciendo que solamente haya dos puntos de fricción teniendo en cuenta que los rodamientos tienen el añadido de generar menos fricción que un casquillo normal.

Un aspecto negativo de la suspensión con un solo brazo es la torsión. Al no tener dos barras y ser una suspensión telescópica formada por tubos, nada limita la rotación relativa entre la botella y el tubo, o lo que es lo mismo, entre la rueda y la dirección. Para solventar este problema se recurre a realizar parte del tubo y parte de la botella con secciones cuadradas, de esta forma con los rodamientos entre estas dos piezas, se limita la rotación, además de repartirse la carga entre los cuatro rodamientos en vez de ser absorbida por las pletinas. En la Figura 12 se muestra la sección de estas dos piezas tras el estudio de diseño.

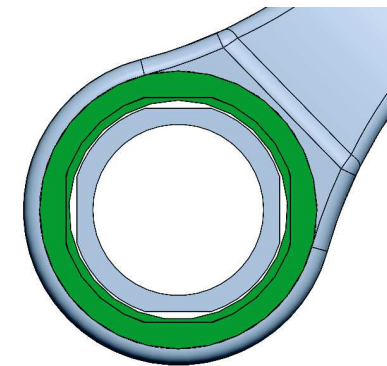


Figura 12. Botella y tubo rectificadas con sección cuadrada

Otra gran ventaja que se encuentra en utilizar este tipo de rodamientos es la repartición de cargas. Los rodamientos de aguja destacan por admitir una gran carga radial poca carga axial. Con el diseño de lados cuadrados de la horquilla además de impedir la rotación, al estar los rodamientos en dos planos diferentes dos a dos, se reparten la carga de modo que la carga axial que pudiesen tener una pareja de ellos, la otra pareja la podrá asumir puesto que la carga axial de una pareja será la carga radial de la otra y viceversa.



Figura 13. Tiras de rodamientos de aguja

7.1.2 Horquilla invertida

Otro aspecto del diseño a elegir es sentido de la horquilla. Cuando la botella se encuentra en la parte inferior y el tubo en la superior, esta configuración pasa a llamarse horquilla normal, o tradicional. Cuando la disposición de estos elementos es al contrario se llama invertida.

La principal diferencia entre estas dos configuraciones es la distribución de pesos y la manera de actuar del amortiguador hidráulico.

7.1.2.1 Masa suspendida

Se llama “masa suspendida” a todo aquella parte de la bicicleta que está soportada por la suspensión. La masa no suspendida es la porción de masa de la bicicleta que queda entre el suelo y la suspensión y no es soportada por ésta. En este caso enfocándonos en el grupo horquilla + rueda, la masa no suspendida será únicamente la rueda y la parte de la horquilla que esté anclada a ésta. La botella de la suspensión tiende a pesar más que el tubo que va en su interior por sus mayores dimensiones. Por tanto una horquilla de diseño invertido contribuirá a conseguir una masa no suspendida menor. Aplicado a la funcionalidad de la suspensión, significa menor inercia del sistema y una amortiguación más reactiva, además de una mayor maniobrabilidad.

7.1.2.2 Flexión

En la práctica, todos los obstáculos e irregularidades del terreno son absorbidos en una pequeña parte por la rueda, y el resto son transmitidos por la llanta hasta llegar al buje por donde se conecta al extremo de la horquilla.

Al ser una horquilla dotada de suspensión telescópica no es una sola pieza, sino que está dividida principalmente entre botella y tubo. La distancia del punto separación entre botella y tubo hasta el extremo inferior de la horquilla será el brazo de palanca con el que se aplique el momento flector provocado por las cargas provenientes del terreno. Por lo tanto una distancia menor se traduce en mayor rigidez del conjunto.

En el caso de una horquilla orientada al descenso, por la necesidad de un gran recorrido de la suspensión, no existe una gran diferencia entre los dos tipos de diseño. Al tener un recorrido mayor la longitud de la botella se reduce y la del tubo aumenta de forma que ambas alcanzan longitudes parecidas.

7.1.3 Doble pletina

Al ser monobrazo, la horquilla requerirá dos puntos de anclaje para asegurar la rigidez necesaria a flexión. Normalmente las horquillas convencionales llevan únicamente una pletina donde se unen los dos tubos de suspensión justo debajo del tubo de dirección. Este sistema resulta frágil ante grandes esfuerzos y convierte a la unión entre horquilla y tubo de dirección en una zona crítica. Por estas razones se usará un sistema de doble pletina una por debajo del tubo de dirección y otra por encima, rodeando a la zona posterior del cuadro. Además, al ser una horquilla de uso en Descenso, su recorrido será mayor al habitual, por lo que la horquilla será de mayor longitud. Para conseguir ese espacio sin elevar la altura de la pipa de dirección y consecuentemente del manillar se aprovechará la altura de la pipa de dirección.

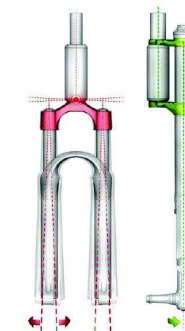


Figura 14. Pletina individual frente a doble pletina

Respecto al tubo de dirección, existen dos geometrías habituales usadas por los principales fabricantes, éstas son tubo recto o tubo cónico también llamadas “tapered”. Las horquillas de tubo recto cuentan con medidas de, 1, 1-1/8, o hasta 1-1/5 pulgadas. Las de tubo cónico están diseñadas de forma que en la base del cono el diámetro exterior es 1 1/5 y en su parte superior 1-1/8 pulgada. De esta manera se consigue tener un perfil más acorde con la distribución de tensiones dada en la conexión de la horquilla con el cuadro, por lo que aporta rigidez y dureza a la conexión utilizando menos material. Al no tener ningún cuadro específico sobre el que diseñar y siendo el tipo de tubo predeterminado por la geometría del cuadro, las pletinas tendrán unas mordazas de 44mm donde se podrán instalar todos los tubos de dirección ayudándose de arandelas complementarias según sea el caso.

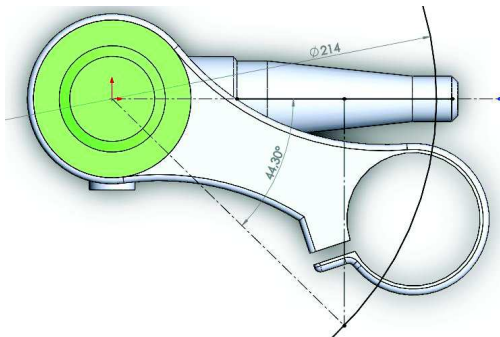


Figura 15. Orientación de las pletinas

7.1.4 Dimensión de rueda

Las horquillas están diseñadas para una dimensión de rueda específica, ya que si se utilizase una rueda de mayores dimensiones cabría la posibilidad de que en el movimiento de compresión de la horquilla la rueda tocara el cuadro o la pipa de dirección antes de que la horquilla llegase a hacer tope. Esto ocasionaría una frenada inesperada muy perjudicial para la vida del neumático y para el ciclista por la inestabilidad recibida. Además si el neumático toca el tubo de dirección podría depositar suciedad en el conjunto de dirección con lo que originaría ruidos en la dirección y cierta oposición al giro. Para evitar este peligro, se establecerá una distancia mínima entre rueda y tubo de dirección de 10mm cuando la horquilla esté totalmente hundida, es decir, haciendo tope al final de su recorrido.

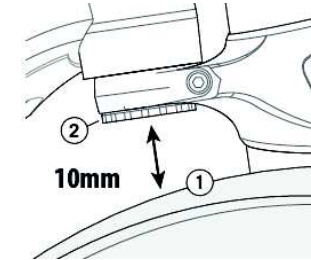


Figura 16. Distancia máxima de la pletina a la rueda

En el mercado actual existen tres dimensiones de ruedas estandarizadas que, medidas en pulgadas, son: 26", 27,5" y 29". Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes que se exponen a continuación.

7.1.4.1 26"

Es la medida tradicional. Cuenta con una llanta de 22" de diámetro y una cubierta de 2" de espesor en su presión de inflado de diseño. Con esto se consiguen las 26" que da nombre a este tipo de rueda. Sus principales características son la rigidez, al tener una llanta de menor radio y los radios que la componen más cortos, mayor maniobrabilidad al ser una rueda más pequeña y un peso ligeramente menor a sus dos rivales (comparando llantas y neumáticos de mismos materiales).

Sus diferencias con las ruedas de 27,5" pueden verse atenuadas al montar sobre la llanta un neumático de mayor altura (2,1" o mayor).

7.1.4.2 27,5"

También llamada 650B, este tipo de rueda ya era usada en competiciones de triatlón. Con un diámetro de llanta de 23" y 2" de altura de neumático, la rueda de dimensiones intermedias dispone de un diámetro real de rueda de 27". Esto hace que se sitúe entre las medidas de 26 y 29 pulgadas, compartiendo características de ambas.

7.1.4.3 29"

La mayor de las ruedas cuenta con llantas de 24,5". Sumando las 2" de altura de neumático se consiguen 28,5" reales de rueda en total.

Una rueda de mayor diámetro tiene una superficie de contacto mayor con el firme. Esto se traduce en una mayor capacidad de tracción, muchas veces necesaria en tramos de ascensos técnicos.

El ángulo de ataque de una rueda es el ángulo que ésta forma con el suelo, y determina la capacidad de la rueda para rebasar obstáculos. Una rueda de 29 pulgadas de diámetro será capaz de pasar por obstáculos fácilmente en comparación con los otros dos tipos de rueda.

La principal ventaja (o desventaja) de este tipo de ruedas por su mayor dimensión es la inercia.

Analíticamente, despreciando el peso de los radios, la rueda se puede simplificar como un disco, de forma que su inercia sigue la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi(d_e^4 - d_i^4)}{32} \quad \text{Ecuación 18}$$

Siendo:

d_e : Diámetro exterior

d_i : Diámetro interior

Con los diámetros con exponente 4, una pequeña variación de éstos provoca un gran cambio en el valor final de la inercia.

Dadas las características de cada rueda, se descarta la rueda de 29". Para la modalidad de descenso se requiere la mayor rigidez posible a la par con una capacidad de tracción alta. Por ello la mejor elección será la medida clásica de 26".

7.2 Geometría

7.2.1 Offset

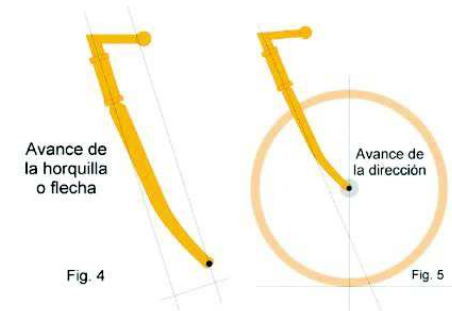


Figura 17. Avance de la horquilla

El avance de la horquilla u offset es la distancia entre el eje de la rueda delantera y el eje de la pipa de la dirección del cuadro (Figura 17 izquierda). El avance de la dirección (Figura 17, derecha) es la distancia medida en el suelo entre la vertical que pasa por el eje de la rueda y la línea que pasa por el eje de la horquilla. Estos dos parámetros sumados generan un valor llamado *Trail*, que sirve para medir la sensibilidad de la suspensión delantera. Afecta principalmente a la distancia entre ejes. Poco *trail* implica menos distancia entre ejes y por tanto una bici más manejable y menos estable y al revés surge el efecto contrario.

7.2.2 Recorrido

El recorrido es la distancia, usualmente en milímetros, que la horquilla es capaz de comprimirse hasta llegar a tocar con el tope. Por ser una modalidad de altas velocidades y circuitos muy exigentes, las horquillas de Descenso montan de los recorridos más grandes dentro de todos los modelos de horquillas.

El recorrido útil a compresión no es el recorrido absoluto de la horquilla puesto que las suspensiones disponen de recorrido negativo, también llamado SAG (ver Precarga más adelante). Por tanto un porcentaje del recorrido debe hacerse en extensión y el restante en compresión.

7.2.3 Ángulo de dirección

El ángulo de dirección es el ángulo entre la línea que marca la pipa y la horizontal. Es una de las medidas que marcan de forma severa el carácter de una bici. Ángulos más grandes implican una



dirección más vertical y por tanto una bici más manejable pero menos estable a altas velocidades, mientras que con ángulos tumbados se obtiene el efecto contrario. En horquillas de Descenso los valores habituales del ángulo de dirección se encuentran entre 65° y 68° .

Ecuación 19



7.3 Parámetros ajustables

Las rutas que un ciclista enfrenta en la modalidad de Descenso no siempre tienen las mismas exigencias ni todos los ciclistas cuentan con el mismo peso. Por ello es necesario diseñar una horquilla con ciertos parámetros que faciliten su configuración en función de estas variables. Estos parámetros son precarga, rebote, compresión, recorrido.

7.3.1 Precarga

La precarga es la compresión previa con la que se dota al elemento elástico de la suspensión afín de soportar el peso del ciclista. Influye en la velocidad y la suavidad con la que la horquilla absorbe el impacto. Se modifica a través de la variación de la longitud inicial del resorte o por la variación de la presión inicial en el caso de una horquilla con cámara de aire. Existe la precarga positiva, que se modifica actuando directamente sobre el elemento elástico principal, y la precarga negativa o también llamado SAG que regula el hundimiento que experimenta la horquilla por el propio peso del ciclista. La explicación de la utilidad del SAG es que ajustándolo se dota de recorrido negativo a la horquilla, permitiendo que la rueda esté pegada al suelo cuando se atraviesa un hoyo o una variación negativa del terreno. En ambos tipos de precarga influyen factores como el peso del ciclista, la inercia o la velocidad. Para conseguir el correcto confort es imprescindible regular tanto la precarga positiva como la negativa.

7.3.2 Rebote

Una vez que la horquilla absorbe el impacto debe volver a su posición inicial. El rebote controla la velocidad de extensión de las suspensiones. Regulando el rebote lo puede hacer más rápido o más lento. En este sistema interviene el aceite del interior del cartucho hidráulico. El émbolo empuja el aceite y lo fuerza a pasar a través de una válvula a una limitada velocidad en el movimiento de extensión. Esta válvula normalmente funciona por geometría, es decir, según la superficie de paso, el aceite tendrá una velocidad de salida. También existen válvulas de funcionamiento por presión donde el aceite pasa por la válvula más o menos rápido en función de la presión que ejerza el émbolo.

El efecto si el rebote está mal regulado y la extensión de la horquilla es muy rápida es de un doble bache, uno el que hay en el propio terreno y otro el que provoca la suspensión al volver con el rebote mal regulado.



Si el rebote por el contrario es muy lento la horquilla tardará demasiado en recuperar su posición inicial. Este comportamiento es perjudicial ya que en un terreno muy bacheado la horquilla una vez comprimida por un primer bache no se recupera lo suficientemente rápido para afrontar próximos baches los cuales se afrontarán con la horquilla parcialmente hundida. De esta manera la horquilla no realizará su función.

7.3.3 Compresión

Es la regulación a través del sistema hidráulico de la velocidad de compresión de la horquilla (de la misma manera que el rebote), obteniendo más rigidez y menor pérdida de energía.

Muchos amortiguadores sí que ofrecen la posibilidad de regular la velocidad de compresión ofreciendo diferentes posibilidades de dejar el circuito abierto cerrado o en otras posiciones intermedias.

La compresión en baja velocidad afecta a movimientos generados por el ciclista con su peso y pedaleo, o pequeñas irregularidades del terreno (por ejemplo al rodar por grava). Si se endurece la compresión en velocidad baja la bici más rígida pero más ágil a baja velocidad.

La compresión en alta velocidad controla la compresión resultante de grandes resaltos. Si la compresión está abierta la horquilla leerá la totalidad de las irregularidades del terreno, en cambio si está cerrada el ciclista tendrá peor sensibilidad ante los baches.

Es usual encontrarse con horquillas con la opción de tener abierto el paso de aceite o cerrarlo totalmente, lo que se llama bloqueo. De esta forma se dispone de una horquilla totalmente rígida, lo que facilita los tramos de ascenso, o con la horquilla a pleno funcionamiento para tramos de descenso.

7.3.4 Recorrido

Regulando el recorrido de la horquilla podemos hacer el recorrido de nuestra horquilla más largo o más corto a la vez que cambiaremos la geometría de nuestra bicicleta.

La principal ventaja de esto es la versatilidad que aporta a la bicicleta, pudiendo afrontar pruebas que no exigen mucho recorrido como rallye o maratón, o hacer pruebas de enduro.



Como desventaja, disponer de una horquilla tan versátil conlleva un exceso de peso en las pruebas que no requieran tanto recorrido, y un ajuste de la horquilla cada vez que se cambie su geometría.

En el presente diseño se dotará a la horquilla de una configuración variable en precarga, rebote y compresión. No se plantea la opción de bloqueo completo, ya que su uso en la modalidad de descenso conlleva su imprescindible funcionamiento. Tampoco se plantea ningún diseño con cambio de recorrido, puesto que las exigencias de esta modalidad requerirán su completo recorrido.

7.4 Materiales utilizados

Basando la elección del material en la herencia de los materiales utilizados con anterioridad, el material más conveniente será el aluminio por su ligereza y resistencia, sin tener en cuenta su reducido coste. Material como la fibra de carbono queda descartado debido a su fragilidad, ya que en competiciones de descenso las cargas soportadas son extremas y mayormente se reciben en forma de impactos bruscos. El acero sería una opción correcta por su alto límite elástico aunque su elevada densidad otorga un peso excesivo para el diseño.

7.4.1 Aluminio

Las características generales comunes de todas las aleaciones de aluminio están recogidas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio

Propiedades del Aluminio	
Densidad, ρ	2810 kg/m^3
Módulo de elasticidad longitudinal o de Young, E	70.000 N/mm^2
Módulo de elasticidad transversal, G	26.300 N/mm^2
Coefficiente de Poisson, ν	0,33
Coefficiente de dilatación térmica, α	$2,36 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Las características mecánicas del aluminio varían considerablemente dependiendo del tipo de aleación que se esté considerando.

En la Tabla 2 se muestran valores de la carga de rotura (N/mm^2), el límite elástico (N/mm^2), el alargamiento en la rotura (en %) y la dureza Brinell para las aleaciones de aluminio más comunes.

Tabla 2. Propiedades aluminio

ALEACION	CARGA ROTURA	LÍMITE ELÁSTICO	ALARGAMIENTO	DUREZA BRINELL
NORMA\$ A.A.	Rm - N / mm ²	Rp 0,2 - N / mm ²	A 5,65 %	HB
7075- T7351	440	360	6	140
7075- T6 / T651	470	400	5	130
2024- T6	425	315	5	125
7020- T6 / T651	350	290	10	120
2024- T3	400	270	8	120
2007- T3	340	220	6	115
2014- T4	430	275	18	110
2007- T4	330	210	7	110
2017- T4	380	280	12	105
2011- T3	380	295	15	100
6061- T6 / T651	350	310	16	95
6062- T6 / T651	295	250	8	95
2030- T4	330	210	7	95
6060- T6	190	150	8	85
6052- H34	195	90	30	70
5083- O / H111	270	110	16	70
5086- O / H111	240	95	16	65
6063- T5	175	130	6	60
5154- O / H111	215	85	16	55
5754- O / H111	190	80	16	55
5251- O / H111	160	60	16	45
1200- H18	125	150	15	45
3003- H14	130	110	6	45
5005- H24	145	110	6	45
1050- H18	165	150	15	43
1200- H14	125	115	20	37
1050- H14	125	115	20	35
1200- O	90	34	40	23
1050- O	90	34	40	21

En este caso las propiedades más restrictivas serán el límite elástico y el límite de rotura. Según la tabla comparativa es evidente la superioridad de la aleación 7075 con tratamiento térmico T6 sobre las demás. El aluminio 7075 pertenece a la familia de aleaciones 7xxx. Los principales aleantes de este grupo son zinc, magnesio y cobre. El tratamiento T6 significa que el material es tratado térmicamente y envejecido artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío, sino que sufren un envejecimiento artificial.

En la Tabla 3 se muestran los valores de concentración típicos de aleantes medidos en porcentaje de concentración dentro de esta aleación.

Tabla 3. Composición AL 7075

Composición EN AW- 7075	
Si	0.40
Fe	0.50
Cu	1.2-2.0
Mn	0.30
Mg	2.1-2.9
Cr	0.18-0.28
Zn	5.1-6.1
Ti	0.20
Otros (cada uno)	0.05
Otros (en total)	0.15
Aluminio	El resto

En la se encuentran los valores de límite elástico y límite de rotura del aluminio 7075-T6, propiedades que han sido utilizadas para simular los ensayos estructurales que se desarrollan en el apartado 8.3 Cálculo.

Tabla 4. Propiedades mecánicas Al 7075-T6

Aluminio 7075-T6	
Límite elástico (MPa)	427
Límite a rotura (MPa)	503

8 Desarrollo

8.1 Diseño

8.1.1 Software

Para realizar el diseño asistido por ordenador se utilizará el software Solidworks de la compañía Dassault Systemes. Con este programa se empleará el modelado de sólidos en 3D por extrusión para la creación de piezas. Además dispone de capacidad para realizar ensamblajes de múltiples piezas aplicando las restricciones necesarias de cada diseño y una biblioteca de elementos normalizados como pueden ser tuercas tornillos o arandelas de diferentes estándares con DIN, ISO, ANSI, etc. También se ha utilizado este software para la creación de los planos correspondientes a cada pieza (véase Anexo A: Planos).

8.1.2 Conjunto

La siguiente imagen corresponde a la vista explosionada de la horquilla con todos sus componentes principales.

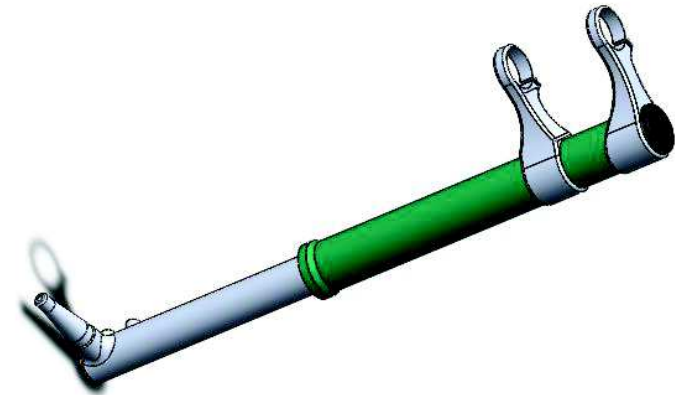


Figura 18. Horquilla completa.

Las características principales de la horquilla se dan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Especificaciones horquilla

Conjunto horquilla	
Longitud extendida	687mm

Longitud comprimida	487mm
Peso	2311gr
Avance	118mm
Angulo de dirección	60°
Constante de rigidez	22 N/mm

En el Anexo B se recogen todas las piezas que componen el ensamblaje final con su designación, material y peso.

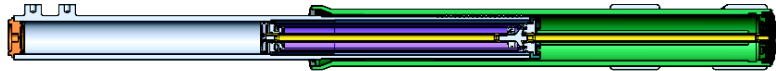


Figura 19. Horquilla completa. Vista de sección

En los siguientes apartados se exponen y detallan los principales componentes de la horquilla.

8.1.3 Componentes

8.1.3.1 Botella (TFG_01_000)

Es la parte superior exterior de la horquilla, se muestra en la siguiente imagen. Se encarga de unir junto al tubo, la rueda al cuadro a través de las pletinas. A la botella se enrosca el tapón superior encargado de resistir la fuerza provocada por la compresión. Ésta tiene una longitud total de 418mm, un diámetro de 52mm en toda su longitud a excepción de su parte inferior donde ensancha hasta los 60mm para alojar el casquillo (TFG_13_000) y el retén (TFG_08_000). La pieza está realizada completamente en aluminio 7075-T6.

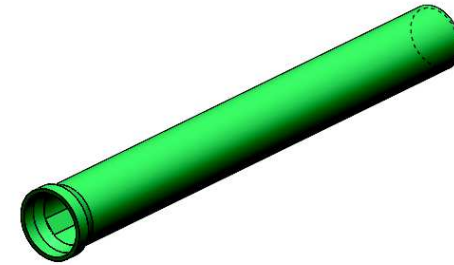


Figura 20. Botella (TFG_01_000)

El tubo y la botella están en contacto por medio de 4 rodamientos de aguja planos situados entre ellos permitiendo el desplazamiento entre ellos de 1 grado de libertad. Las pistas de rodaje exteriores de los rodamientos están integradas en la geometría de la botella (véase Figura 21). Como las dos superficies están en movimiento relativo, la distancia necesaria de pista será igual a la mitad del recorrido de la horquilla más la longitud de los rodamientos más una distancia de seguridad.



Figura 21. Botella. Vista de sección

8.1.3.2 Tubo (TFG_02_000)

Se trata de una pieza realizada por mecanizado en aluminio 7075-T6 que se compone por el eje macizo de la rueda, el alojamiento de la cámara de aire y el alojamiento del cartucho hidráulico. A ella va enroscado en su zona inferior el Tapón inferior por donde se regula la presión de la cámara, y en su parte superior el cartucho hidráulico, de forma que ambos se mueven solidarios.

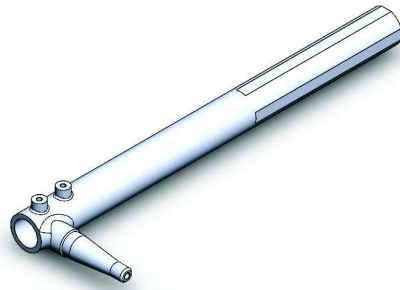


Figura 22. Tubo (TFG_02_000)

En la figura anterior se puede apreciar las pistas de rodadura interiores. El tubo tiene un diámetro de 48mm, 470mm de longitud y un peso total de 770gr.

En la parte inferior se encuentra el eje parte que sirve para alojar el buje de la rueda junto a sus rodamientos. Para ello se han dispuesto dos zonas en el eje para el asentamiento de dichos rodamientos, de 25 y 15mm de diámetro con un ancho de 10 y 13mm respectivamente.

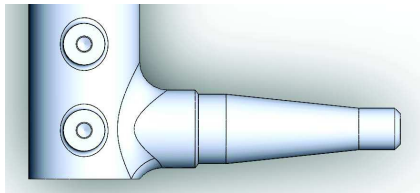


Figura 23. Tubo. Detalle del eje y acople de freno

La horquilla está preparada para utilizar freno de disco, por ello cuenta con dos zonas de anclaje para la pieza que haga de interface entre la horquilla y la pinza de freno, visibles en la Figura 23.

8.1.3.3 Pletinas

Piezas de gran importancia estructural, puesto que son las encargadas de transmitir todas las reacciones provenientes del firme que la horquilla no consigue absorber. Sirve además de elemento de conexión entre la horquilla y el tubo de dirección. Al disponer de dos pletinas, la horquilla adquiere una rigidez notable en comparación con horquillas de una sola pletina como ya se ha explicado anteriormente. Ambas piezas se unen al tubo de dirección a través de sus

abrazaderas donde un tornillo de métrica 6 es el encargado de otorgar el par de apriete correspondiente. Con las otras abrazaderas situadas en su otro extremo se unen a la parte superior de la botella por medio de apriete. Ambas pletinas están realizadas en aluminio 7075-T6.

Para conseguir en la horquilla ya montada que la rueda quede perfectamente alineada con el cuadro las pletinas deberán posicionarse correctamente a $44,30^\circ$ como se muestra en la Figura 15.

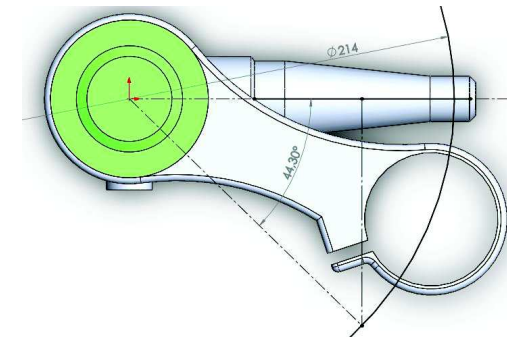


Figura 24. Orientación de las pletinas

8.1.3.3.1 Pletina inferior (TFG_05_000)

Es la pletina que mayores esfuerzos soporta por ser la más cercana. Por este motivo se ha realizado de forma maciza.

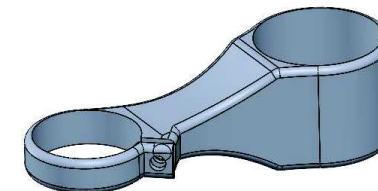


Figura 25. Pletina inferior (TFG_05_000)

8.1.3.3.2 Pletina superior (TFG_06_000)

En esta pletina ya que soporta menos esfuerzos se ha optado por realizar un vaciado en su zona central para aligerar la pieza.

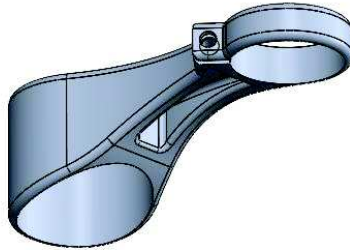


Figura 26. Pletina superior (TFG_06_000)

8.1.3.4 Sistema neumático

El diseño seleccionado para el sistema neumático se compone de una cámara de aire que funciona a una presión determinada. De esta forma se consigue un sistema elástico con una constante de rigidez determinada por la sección del cilindro y la presión y densidad del gas.

Se debe tener en cuenta la progresividad de los sistemas neumáticos. Esto se refiere a una suavidad al principio de su desplazamiento para incrementarse de manera exponencial con lo que conseguir el recorrido total se hace más difícil que utilizando resortes tipo muelle normales

8.1.3.5 Cilindro hidráulico (TFG_03_000)

El componente más importante de la horquilla en cuanto a funcionamiento de la suspensión.

En este caso al ser una horquilla monobrazo el cartucho hidráulico y el pistón neumático van unidos en un solo sub-ensamblaje.



Figura 27. Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista de componentes explosionada

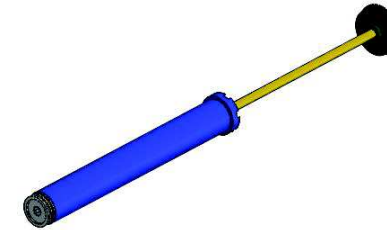


Figura 28. Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista general

En la Figura 29 se muestran todas las piezas principales que conforman el cartucho hidráulico. Todas las piezas están realizadas con aluminio 7075-T6 para garantizar el estado de las roscas entre los componentes a excepción de las juntas tóricas que se fabricarán en NBR (nitrilo butadieno) y el tope compresión que se utilizará un polietileno de menor dureza como el neopreno.

El tapón superior (TFG_03_008) es la zona de conexión del cartucho con la botella por medio de una rosca. A éste se enroscan internamente el vástago superior (TFG_03_008) y el tope de goma (TFG_03_010), que se encarga de amortiguar los golpes producidos por la compresión completa de la horquilla. En el otro extremo del vástago superior se atornilla la válvula de rebote (TFG_03_100) cuya función se explicará en su apartado correspondiente. En el otro extremo de la válvula de rebote va unido el vástago inferior (TFG_03_003) y ésta a su vez por a la cabeza del pistón neumático (TFG_03_004) por medio de un tornillo (TFG_03_005) especialmente diseñado para ello. Todo este sub-ensamblaje se mueve solidario con la botella y consiguientemente con el cuadro de la bicicleta por ser una horquilla invertida.

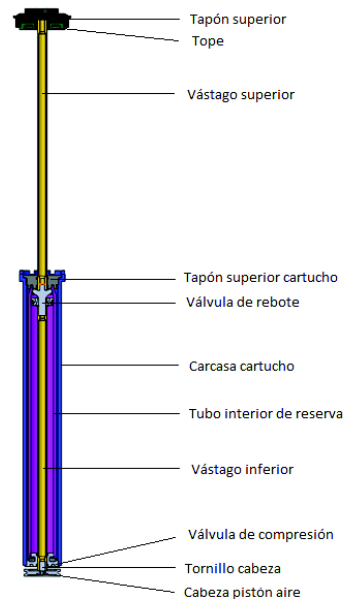


Figura 29. Cartucho hidráulico (TFG_03_000). Vista de sección

El resto de componentes del cartucho hidráulico se mueven solidarios al tubo (TFG_02_000) por la unión a rosca de éste con la carcasa del cartucho (TFG_03_001). En su extremo superior se encuentra el tapón superior del cartucho (TFG_03_009) y en el inferior la válvula de compresión (TFG_03_006). Ambas piezas están conectadas internamente por el tubo interior de reserva (TFG_03_007) que hace de separación entre la cámara hidráulica interior y exterior.

8.1.3.5.1 Válvula de compresión (TFG_03_006)

Situada en la zona inferior del cartucho hidráulico, se encarga de restringir el fluido cuando la horquilla efectúa el movimiento de compresión. Al recibir un impacto, el tubo interior se mueve axialmente hacia el interior de la botella haciendo que el fluido en el interior del cartucho hidráulico choque con la válvula de rebote.



Figura 30. Válvula de compresión

8.1.3.5.2 Válvula de rebote

La válvula de rebote es uno de los elementos imprescindibles para el correcto funcionamiento del grupo hidráulico. Se trata de una válvula anti retorno bidireccional donde dependiendo del sentido del fluido, éste pasará por unos orificios u otros restringiendo así su área de paso y por tanto su velocidad. Además, cuenta con unas arandelas de poco espesor (0,1mm) que cierran los orificios. Éstas se doblarán con la presión que realice el fluido. Esto es una solución muy utilizada para los movimientos a gran velocidad, puesto que una restricción de superficie no será capaz de absorber el impacto suficientemente rápido.

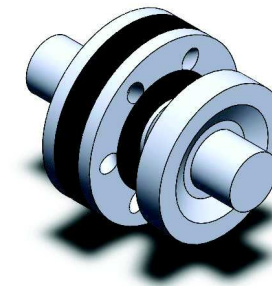


Figura 31. Válvula de rebote (TFG_03_100)

En la siguiente figura se muestran los orificios de paso del fluido. Como se puede ver las arandelas shim-stack que actúan en el movimiento de compresión ejerciendo de obstáculo para el fluido, en el movimiento de rebote sirven de tapón para la mitad de los orificios, funcionando así como una válvula anti retorno de doble sentido. Esta válvula tiene 6 orificios de 2mm de diámetro para cada sentido del fluido.

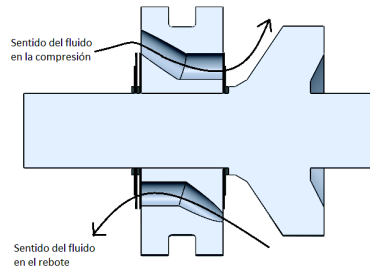


Figura 32. Válvula de rebote. Orificios de paso en compresión y rebote

8.1.3.6 Rodamientos de aguja (TFG_04_000)

Lámina rodamientos compuesta de un total de 20 agujas y una jaula que las contiene y lubrica. Las agujas están realizadas en acero al cromo carbono para asegurar su efectividad. La jaula será de un polímero. El conjunto contiene un total de 4 láminas de rodamientos, una por cada lado de la sección cuadra del tubo. Estos rodamientos forman la unión entre el tubo y la botella además de ser la restricción de rotación del tubo respecto a la botella.

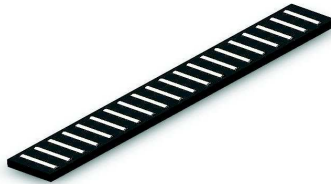


Figura 33. Lámina de Rodamientos (TFG_04_000)

8.2 Estudio de parámetros

A continuación se realizará un cálculo previo de la precarga necesaria de la suspensión para su correcto funcionamiento. También se calculará la constante de rigidez asociada a la cámara de aire en función de un peso de ciclista estándar.

8.3 Precarga

La precarga es un parámetro imprescindible en las suspensiones como se ha comentado anteriormente. Con la sección del cilindro neumático determinada por la realización del diseño, se puede calcular la presión inicial de trabajo de la suspensión para cada peso del ciclista. Hay que tener en cuenta que la horquilla debe tener un recorrido negativo y, al no tener una cámara negativa o un muelle secundario, deberá estar en función de la precarga.

Como se ha mencionado anteriormente el recorrido en extensión de una horquilla de descenso debe estar entre un 25% y un 30% del recorrido total. En este caso se utilizará un 25% del recorrido.

$$SAG = 0.25 \cdot 200mm = 50mm$$

Ecuación 20

Por lo tanto la horquilla cargada con el peso del ciclista deberá comprimirse hasta los 50mm.

Para la elección del peso del ciclista se debe tener en cuenta el reparto de pesos entre los ejes de la bicicleta. Para el estudio se ha decidido un reparto de pesos de 30% sobre el eje delantero y 70% sobre el trasero.

Sabiendo la superficie del cilindro, se puede hallar la presión realizada en función de la fuerza que vendrá determinada por el peso del ciclista.

$$P = \frac{F}{S}$$

Ecuación 21

$$S = \pi r^2 = \pi \cdot 10^2 = 314mm^2$$

Ecuación 22

De esta forma se podrá desarrollar un gráfico con la presión necesaria en función del peso como se muestra en la Figura 34.

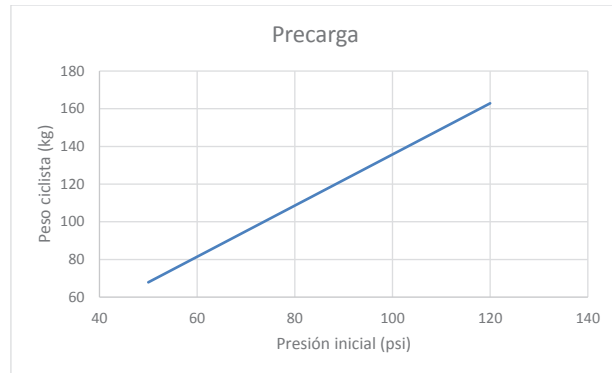


Figura 34. Precarga

8.4 Constante de rigidez

La constante de rigidez dependerá de la presión inicial del gas del cilindro neumático y del área del cilindro. Como el área se ha reducido gracias al tubo reductor TFG_15_000, el comportamiento de la suspensión será más suave, puesto que no será necesaria mucha fuerza para conseguir la presión adecuada del sistema.

Es necesario aplicar una presión inicial. Para este estudio se elegirá un peso de ciclista estándar de 70kg. El ciclista desarrolla una fuerza en la suspensión delantera equivalente a la mostrada a continuación.

$$F = m \cdot g = (70 \text{ kg} \cdot 0.3) \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 205.8 \text{ N} \quad \text{Ecuación 23}$$

Sabiendo la superficie del cilindro es posible determinar la presión.

$$P_0 = \frac{F}{S} = \frac{205.8 \text{ N}}{314 \text{ mm}^2} = 0.655 \text{ MPa} \quad \text{Ecuación 24}$$

Aplicando la ley de los gases nobles y suponiendo el aire como gas ideal caloríficamente perfecto, se calculará la presión necesaria para realizar el movimiento de compresión.

$$PV = nRT \quad \text{Ecuación 25}$$

También se aplicaran condiciones de sistema isotérmico, y al ser el mismo gas de trabajo en instantes diferente las demás constantes se pueden simplificar.

$$T = \text{cte} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$PV = \text{cte} \quad \text{Ecuación 27}$$

El producto entre la presión y el volumen es constante, de manera que siendo el volumen inicial el producto entre la superficie y el recorrido de la horquilla, se podrá calcular la presión en cada momento en función de la compresión.

$$V_0 = S \cdot l = 314 \text{ mm} \cdot 215 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 28}$$

Estos datos nos generan una nube de puntos en función de la fuerza aplicada y el desplazamiento de la suspensión. Como se puede ver en la Figura 35, es evidente el efecto de la progresividad del cilindro neumático.

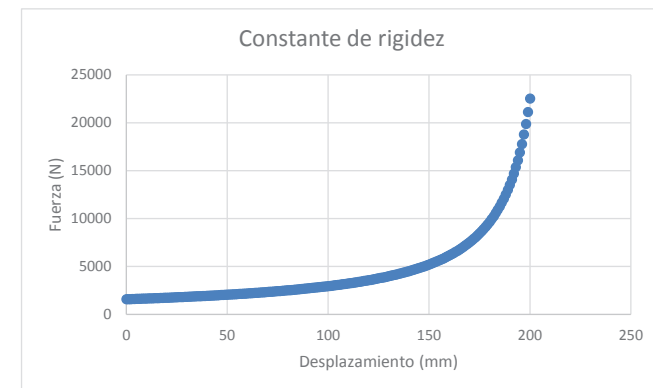


Figura 35. Gráfico de constante de rigidez

Como se muestra en la Figura 36 la progresión es más lenta hasta alcanzar los 150mm de recorrido. La curva genera una línea de tendencia que se asemeja a una recta. La pendiente de esta recta será la constante de rigidez equivalente de nuestro sistema.

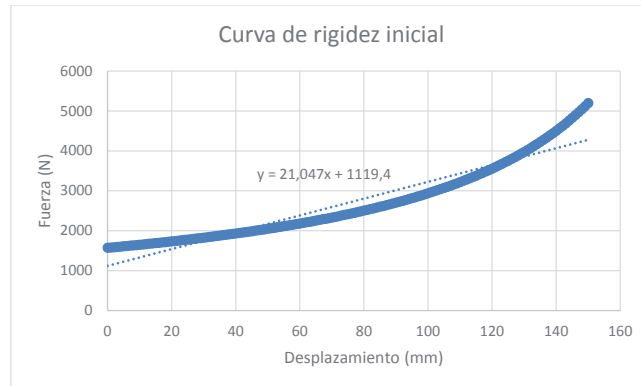


Figura 36. Constante de rigidez, primer tramo 0-150mm

$$K = 21 \text{ N/mm}$$

Ecuación 29

8.5 Cálculo

Para realizar los ensayos pertinentes con el objetivo de conseguir el marcado CE, se ha utilizado el software de simulación por elementos finitos ANSYS Workbench. Este programa es capaz de representar diversas acciones como restricciones y estados de carga estática o alternante (estudios de fatiga) en piezas diseñadas por ordenador en programas CAD. De esta forma se consigue un gran avance en cuanto al diseño del producto evitando la fabricación de prototipos para pruebas.

8.5.1 Ensayos de la normativa para marcado CE

Dentro de la Norma EN UNE 2410 se encuentran los ensayos correspondientes a los requisitos de seguridad para bicicletas (EN UNE 2410-6) y los requisitos de seguridad exigibles para cada ensayo (EN UNE 2410-2). A continuación se detallará las solicitaciones y los requisitos de cada ensayo aplicable a la horquilla.

8.5.1.1 Ensayo de tracción para una horquilla no soldada

El enunciado del ensayo dicta que se fije rígidamente el tubo de dirección en un dispositivo rígido apropiado de fijación evitando que las fuerzas de apriete se apliquen sobre la cabeza de la horquilla, y se aplique una fuerza de tracción de 5000 N repartida de manera igual entre las dos punteras durante 1 min en una dirección paralela al eje del tubo de la horquilla.

Los requisitos de seguridad del ensayo exigen que no haya desprendimiento ni aflojado de ninguna parte del conjunto.

Según el diseño de la suspensión, ante una fuerza a tracción el tubo interior junto al cartucho hidráulico se separarían de la botella para finalmente hacer tope el tapón superior del cartucho con el eje de la válvula de rebote (véase Figura 37).



Figura 37. Tope a tracción. Zona de contacto (azul)

Al tener un conjunto con tantas piezas de poco tamaño es imprescindible abordar el ensayo de forma simplificada para asegurar la el cumplimiento del ensayo por las piezas más críticas. Para este ensayo se ha aligerado el conjunto eliminando las piezas que no tienen relevancia para el cálculo estructural. Como se puede ver en la Figura 38 las partes más notorias eliminadas son el actuador neumático y el cartucho hidráulico.

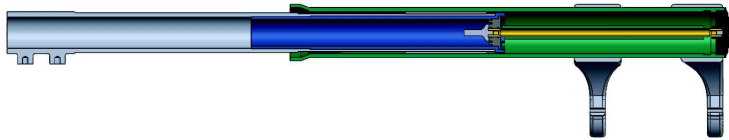


Figura 38. Modelo simplificado para el ensayo de tracción. Vista de sección.

En la correspondiente simulación de dicho ensayo se empotrarán las zonas de las pletinas dedicadas a atrapar el tubo de dirección, tal y como se muestra en la siguiente figura, para recrear la sujeción que tendría la horquilla ya ensamblada en el cuadro.

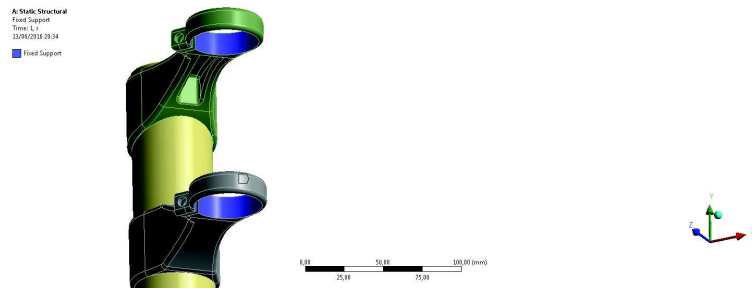


Figura 39. Empotramiento de las pletinas (zona azul)

La fuerza se aplicará en las zonas preparadas para acoger los rodamientos del eje de la rueda como se muestra en la siguiente figura.

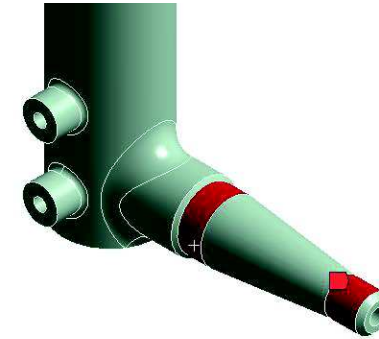


Figura 40. Superficie de aplicación de las fuerzas en los ensayos

Para el mallado del conjunto, dadas las limitaciones de tamaño de la licencia utilizada, se optará por un mallado uniforme con elementos tetraédricos como se muestra en la Figura 42. La calidad de mallado se encuentra en torno 0,75 sobre 1 como se puede ver en la Figura 41. Esto significa que los nodos son muy cercanos a ser poliedros perfectos, por ello la calidad de la malla aumenta y la distribución de tensiones resultará acorde con el comportamiento real del material.

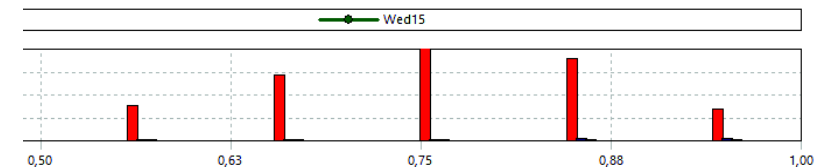


Figura 41. Calidad nodal de la malla

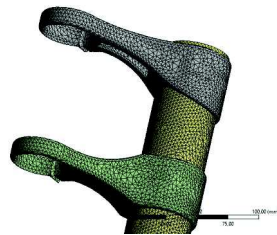


Figura 42. Detalle de mallado

En la Figura 43 y Figura 44 se muestran los resultados de los esfuerzos relacionados con el ensayo de tracción. La tensión máxima producida es de 264MPa. Cabe destacar que la excentricidad tanto de la zona de aplicación de la fuerza con la zona de contacto y los soportes empotrados, hacen que una simple fuerza de tracción se transforme en una combinación de tracción, flexión y torsión, que produce una tensión de esta magnitud. También se puede observar como al producirse una flexión del tubo a su vez se produce una compresión en su fibra interior (parte izquierda del tubo en la imagen) y una tracción (parte derecha de la imagen). La zona comprimida por la flexión queda neutralizada relativamente por la compresión, mientras que el lado opuesto al estar sometido doblemente a tracción soporta mayores esfuerzos.

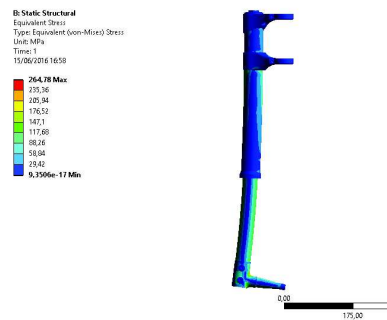


Figura 43. Ensayo de tracción. Tensión equivalente de Von Mises

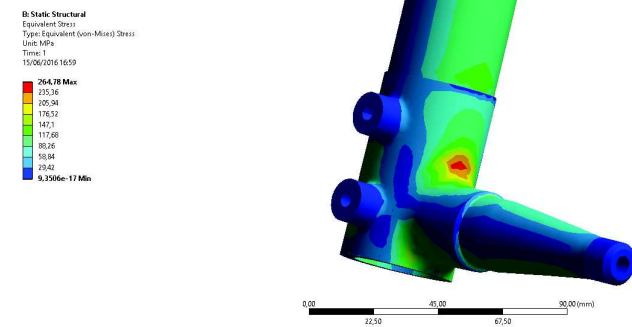


Figura 44. Ensayo de tracción. Tensión equivalente de Von Mises, detalle de tensión máxima.

La zona crítica es la unión entre el eje macizo y el cuerpo del tubo. El acuerdo de la zona de 10mm contribuye a distribuir las tensiones y así no ser un concentrador de tensiones aunque, en este caso, sea el punto crítico.

En cuanto a los desplazamientos, la flecha máxima alcanza un valor de 10,16mm en la dirección de la fuerza aplicada.

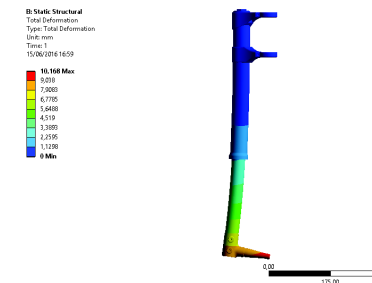


Figura 45. Ensayo de tracción. Desplazamientos

La siguiente figura recoge el mapa del factor de seguridad por zonas frente al límite elástico. Como se puede observar este factor alcanza un valor mínimo de 1,62.

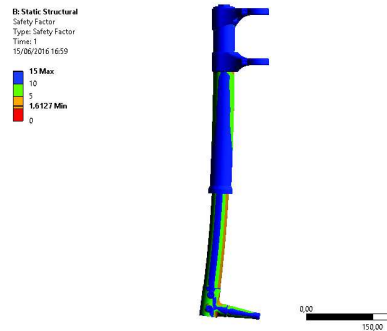
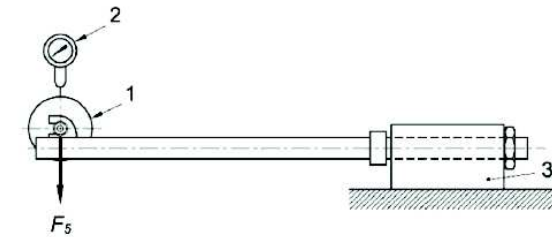


Figura 46. Ensayo de tracción. Factor de seguridad

8.5.1.2 Ensayo estático de flexión

El segundo ensayo especifica que se coloque la horquilla de acuerdo con el Anexo B de la norma EN UNE 2410-6 y se instale un pivote de rótula de soporte de la carga sobre un eje colocado en las muescas de los brazos (véase Figura 47). Se coloca un dispositivo de medición de la flecha sobre el punto de fijación de la carga para medir la flecha y la deformación permanente de la horquilla perpendicularmente al eje del tubo de dirección y en el plano de la rueda.



Leyenda

- 1 Fijación de la carga que puede pivotar sobre el eje
- 2 Dispositivo de medición de la flecha
- 3 Montante rígido incluyendo los rodamientos de dirección

Figura 47. Horquilla delantera. Ensayo estático de flexión (montaje típico)

Se aplica al rodillo una fuerza estática de precarga de 100 N que sea perpendicular al eje del tubo de dirección en el sentido opuesto al desplazamiento y en el plano de la rueda. Se suprime y después se aplica esta carga hasta que se obtenga un valor de flexión estable. Se pone a cero el dispositivo de medición de la flecha.

Se aumenta la fuerza estática a F , y se mantiene esta fuerza durante 1 min, después se vuelve a reducir la fuerza a 100 N y se registra la eventual deformación permanente. Las fuerzas se dan en la Tabla 6.

Tabla 6. Fuerzas en el soporte de la carga

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
-------------------	---------------------	---------------------------------	-----------------------	------------------------

Fuerza F_5 (N)	1000 N	1000 N	1500 N	1200 N
------------------	--------	--------	--------	--------

Para la simulación no es necesario incorporar el cilindro, puesto que éste solamente se coloca para aplicar la carga de manera uniforme entre las dos muescas de los brazos, que dado que la horquilla a estudiar es monobrazo, se aplicará la fuerza en las zonas preparadas para alojar los rodamientos del eje de la rueda como en el ensayo anterior.

Al ser una horquilla destina a un uso en montaña la fuerza F_5 será igual a 1500N.

La norma indica que no habrá fisuras ni roturas visibles en ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda, o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 10mm.

En la siguiente tabla se exponen las etapas de carga con la fuerza correspondiente, la tensión máxima de Von Mises alcanzada y el desplazamiento máximo desarrollado en cada etapa.

Tabla 7. Datos ensayo de flexión

Nº	Fuerza (N)	Tensión de Von Mises (MPa)	Deformación (mm)
1	100	14,599	0,64632
2	0	0,2382	3,29E-06
3	100	14,599	0,64632
4	1500	219,05	9,6948
5	100	14,599	0,64632

La deformación eventual resultado del ensayo es la siguiente:

$$\Delta L = \Delta L_4 - \Delta L_5 = 9.6948 - 0.64632 = 9.048mm$$

Ecuación 30

El ensayo exige que la deformación permanente eventual sea menor a 10mm. Evidentemente la horquilla supera el ensayo puesto que nunca alcanza los 10mm de deformación en ningún momento.

A continuación se muestra en la Figura 48 y Figura 49 dos imágenes relacionadas con el ensayo, donde se puede apreciar las zonas sometidas a mayores esfuerzos según la tensión equivalente de Von Mises y su punto crítico que alcanza un valor igual a 219MPa.

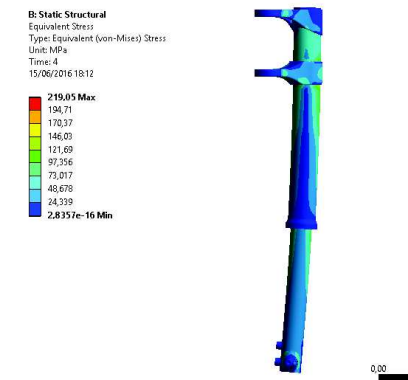


Figura 48. Ensayo a flexión. Tensión equivalente de Von Mises

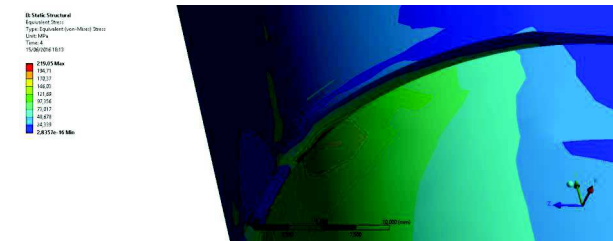


Figura 49 Ensayo a flexión. Tensión equivalente de Von Mises, detalle de tensión máxima

La siguiente figura expone los desplazamientos sufridos por la horquilla. Se puede apreciar como ésta se deforma en la dirección de la fuerza aplicada. La deformación máxima es de 9,67mm.

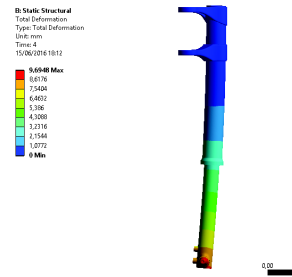


Figura 50. Ensayo a flexión. Desplazamientos

Como dato añadido, se ha realizado un análisis del factor de seguridad de la prueba frente al límite elástico del material. El mínimo de dicho valor corresponde a 1,95.

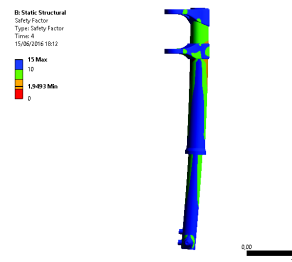


Figura 51. Ensayo a flexión. Coeficiente de seguridad

8.5.1.3 Ensayo de choque trasero

Este ensayo se compone de 3 métodos que se realizarán en el orden en que se exponen, teniendo que efectuar sus especificaciones para así alcanzar el objetivo del cumplimiento de la norma.

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.4.1 de la Norma ISO 4210-6:2015 (8.5.1.3.1 Método de ensayo), si hay alguna rotura o fisura visible en cualquier parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la meda o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, excede de los 45 mm se debe considerar que la horquilla ha fallado Si la horquilla cumple con el primer criterio, entonces se

debe someter a un segundo ensayo como se describe en el apartado 5.4.2 de la Norma ISO 4210-6:2015 (8.5.1.3.2 Método de ensayo 2) después de lo cual no debe mostrar roturas. Si la horquilla cumple con el primer y segundo criterio de ensayo, entonces se debe someter a un tercer ensayo como se describe en el apartado 5.4.3 de la Norma ISO 4210-6:2015 (8.5.1.3.3 Método de ensayo 3), independientemente de la cantidad de deformación permanente, no debe haber movimiento relativo entre el tubo de la dirección y la cabeza de la horquilla.

8.5.1.3.1 Método de ensayo 1

Se coloca la horquilla de acuerdo con el Anexo B como se muestra en la Figura 52. Se instala en la horquilla un rodillo que tenga una masa inferior o igual a 1 kg. La dureza del rodillo no debe ser inferior a 60 HRC en la superficie de choque.

Se coloca un percutor que tenga tula masa de $22,5 \pm 0,1$ kg sobre el rodillo fijado en las punteras de la horquilla de tal forma que ejerza una fuerza en el sentido opuesto al desplazamiento y en el plano de la rueda. Se coloca un dispositivo de medición de la flecha bajo el rodillo y se registra la posición de la cara inferior del rodillo en una dirección perpendicular al eje del tubo de dirección y en el plano de la meda y se anota la posición vertical de la horquilla.

Se retira el dispositivo de medición de la flecha, se levanta el percutor a una altura h_4 y se suelta para que golpee el rodillo contra la dirección de inclinación de la horquilla. En la Tabla 8 se dan las alturas de caída El percutor va a rebotar, lo que es normal cuando el percutor se detenga sobre el rodillo, se mide la deformación permanente bajo el rodillo.

Tabla 8. Altura de caída h_4 en función del tipo de bicicleta

Tipo de bicicleta		Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Altura de caída, h_4 (mm)	Horquillas hechas completamente de metal	180	180	360	360
	Horquillas que contienen piezas de material compuesto	320	320	600	640

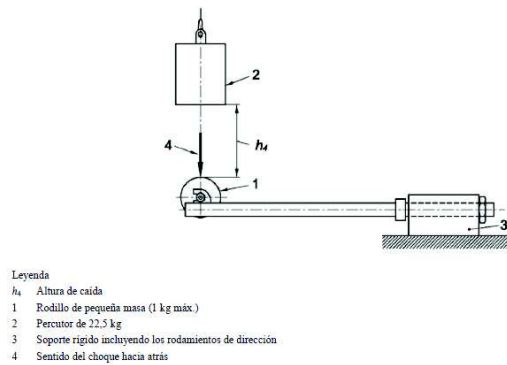


Figura 52. Esquema Método de ensayo I

Como el ensayo es simulado, se proyectará una fuerza equivalente a la realizada por la masa en la misma dirección y sentido que se aplica la masa, esta es la siguiente.

$$F = m \cdot g = 22,5 \cdot 9,8 = 220,5 \text{ N} \quad \text{Ecuación 31}$$

Además no será necesario el uso del rodillo rígido, puesto que al ser una simulación la se reparte completamente por la superficie de aplicación, (en este caso, los asentamientos de los rodamientos del eje) y no se producen deformaciones puntuales.

En la Figura 53 y Figura 54 se muestran los resultados de la tensión equivalente de Von Mises y de los desplazamientos respectivamente. La tensión máxima alcanzada es igual a 32.1MPa y la horquilla sufre un desplazamiento máximo de 1,42mm.

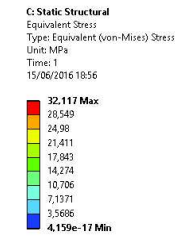


Figura 53. Ensayo de choque trasero, método 1 con carga apoyada. Tensión equivalente de Von Mises

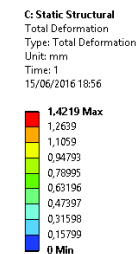


Figura 54. Ensayo de choque trasero, método 1 con carga apoyada. Desplazamientos

Para la fuerza de impacto, la altura de caída será la referida a bicicletas de montaña. Con ello, la energía recibida será una suma de energía potencial y cinética cuyos valores se obtendrán a continuación.

La caída del percutor se realiza desde reposo, por lo que la velocidad inicial es nula. Cogiendo un sistema de referencia donde el cero coincide con el punto exacto donde incide el peso, y despreciando el rozamiento con el aire se puede aplicar un sistema donde la energía se conserva. De esta forma la energía mecánica en el instante inicial será igual a la energía en el instante final. Por ello la energía en ambos puntos equivale Al valor de la energía potencial inicial.

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 22,5 \cdot 9,8 \cdot 0,36 = 79,38 J \quad \text{Ecuación 32}$$

Como es un ensayo dinámico, se procederá a trasladar las sollicitaciones a un entorno donde el ensayo sea de tipo estático. Esto conlleva realizar el impacto a una altura igual a 0m, lo que no produciría energía, de forma que se fijará una altura de caída igual a 0.05m para así calcular la aceleración necesaria. Con estos datos y la masa del percutor, se podrá hallar la fuerza estática equivalente.

$$E_p = 79,38 J = m \cdot g \cdot h = 22,5 \cdot a \cdot 0,05 \quad \text{Ecuación 33}$$

$$a = \frac{79,38}{22,5 \cdot 0,05} = 70,56 m/s^2 \quad \text{Ecuación 34}$$

$$F = m \cdot a = 22,5 \cdot 70,56 = 1587,6 N \quad \text{Ecuación 35}$$

O lo que es lo mismo,

$$m = \frac{F}{a} = \frac{1587,6}{9,8} = 162 kg \quad \text{Ecuación 36}$$

Con la carga estática podemos analizar si la horquilla aguanta los esfuerzos generados. En la Figura 53 se muestra la distribución de la tensión equivalente de Von Mises. El punto de la estructura donde se alcanza el valor máximo, 231Mpa, es el contacto del tubo con el casquillo.

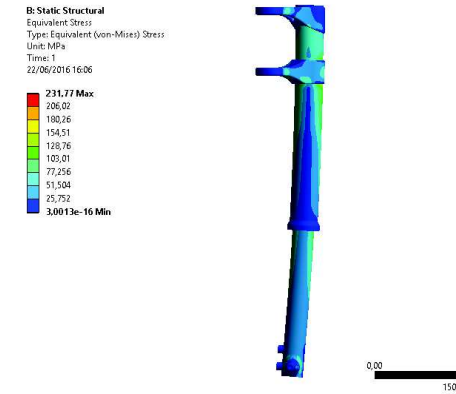


Figura 55. Ensayo choque trasero, método 1 con carga de impacto. Tensión equivalente de Von Mises.

La deformación por el impacto es de 10,26mm como se muestra en la Figura 56.

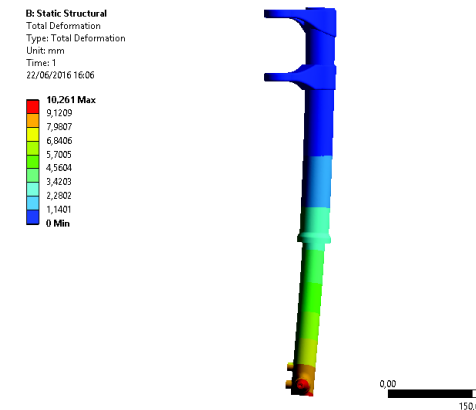


Figura 56. Ensayo choque trasero, método 1 con carga de impacto. Desplazamientos.

8.5.1.3.2 Método de ensayo 2

Este ensayo es similar a lo descrito en la última parte del método de ensayo anterior excepto en la altura de caída. Se coloca la horquilla utilizada para el ensayo del apartado anterior como se muestra en la Figura 52 y se instala un rodillo de pequeña masa. Se levanta el percutor a una

altura de 600mm sobre el rodillo y se suelta para que golpee contra la dirección de inclinación de la horquilla.

Se aplicará el mismo proceso de cálculo que en el ensayo anterior, puesto que la única variación es la altura de caída, la cual aumenta hasta los 600mm.

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 22,5 \cdot 9,8 \cdot 0,6 = 132,3 J \quad \text{Ecuación 37}$$

La fuerza aplicada de manera estática equivalente será resultado del siguiente cálculo.

$$E_p = 132,3 J = m \cdot g \cdot h = 22,5 \cdot a \cdot 0,05 \quad \text{Ecuación 38}$$

$$a = \frac{132,3}{22,5 \cdot 0,05} = 117,6 \frac{m}{s^2} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$F = m \cdot a = 22,5 \cdot 117,6 = 2646 N \quad \text{Ecuación 40}$$

O lo que es lo mismo,

$$m = \frac{F}{a} = \frac{2646}{9,8} = 270 kg \quad \text{Ecuación 41}$$

En la Figura 57 se puede observar la distribución de la tensión equivalente de Von Mises. El valor máximo es igual a 386.28 MPa, suponiendo el ensayo más crítico para la pieza, puesto que el límite elástico del material se encuentra en 427Mpa. En la Figura 58 se muestra la deformación producida por el choque, con un desplazamiento máximo de 17mm, un valor acorde con la magnitud de la carga y el resultado del diagrama de tensiones.

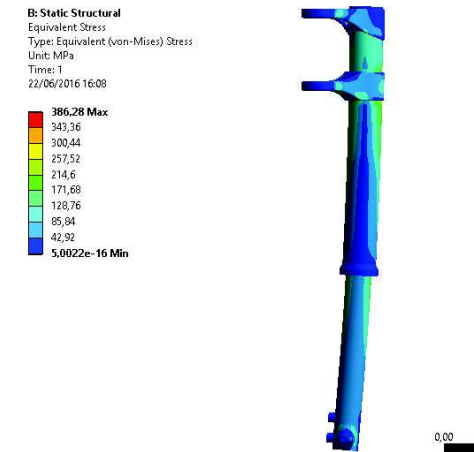


Figura 57. Ensayo choque trasero, método 2. Tensión equivalente de Von Mises

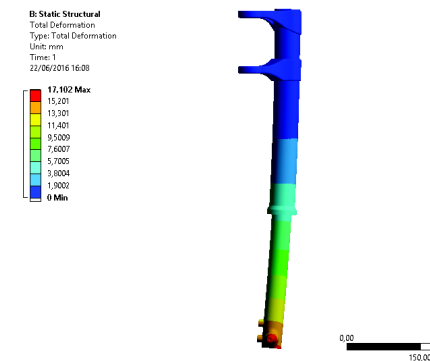


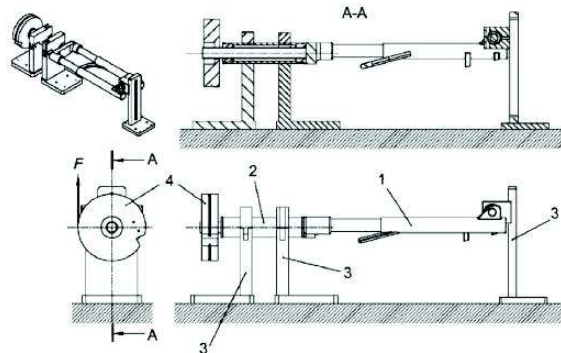
Figura 58. Ensayo choque trasero, método 2. Desplazamientos.

8.5.1.3.3 Método de ensayo 3

Se aplica un par T sobre el conjunto y se mantiene durante 1 min en cada dirección posible de rotación sobre el eje de dirección. El par se da en la Tabla 9 y en la Figura 59 se muestra un equipamiento de ensayo.

Tabla 9. Par en la horquilla

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Par, T (Nm)	50	50	80	80



Leyenda

- 1 Horquilla delantera
- 2 Dispositivo de fijación de la horquilla (dispositivo de fijación representativo del tubo de la dirección)
- 3 Soporte rígido
- 4 Adaptador de ensayo

Figura 59. Horquilla para freno de tambor/disco. Ensayo estático de par de frenado

B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
15/06/2016 19:50

104.19 Max
92.615
81.028
69.461
57.885
46.308
34.731
23.154
11.577
7.7315e-17 Min



Figura 60 Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Mises.

B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
15/06/2016 19:57

104.19 Max
92.615
81.028
69.461
57.885
46.308
34.731
23.154
11.577
7.7315e-17 Min

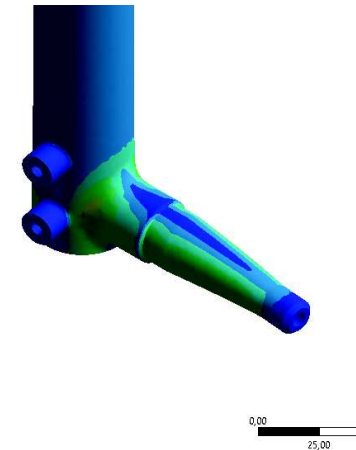


Figura 61. Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Mises detalle de zona de aplicación.

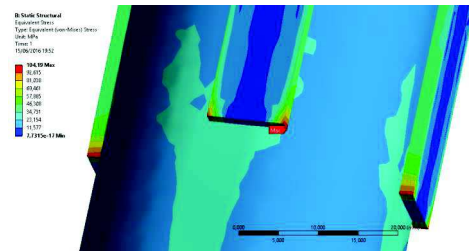


Figura 62. Ensayo choque trasero, método 3. Tensión equivalente de Von Mises, detalle tensión máxima.

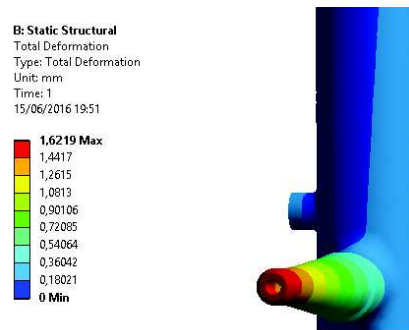


Figura 63 Ensayo choque trasero, método 3. Desplazamientos

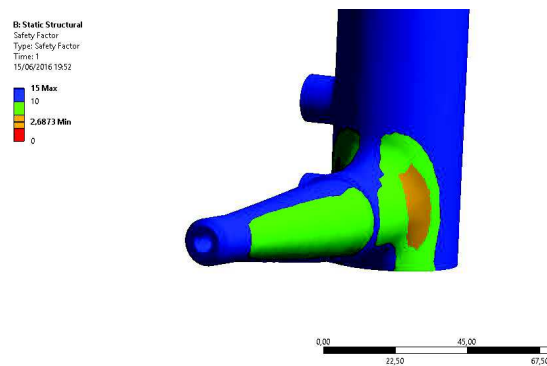


Figura 64. Ensayo choque trasero, método 3. Coeficiente de seguridad.

8.5.1.4 Ensayo de fatiga por flexión y ensayo de choque hacia atrás

En este ensayo la norma dicta que se coloca la horquilla de acuerdo con el anexo B como se muestra en la Figura 65. Se apliquen ciclos de fuerzas dinámicas totalmente alternadas de F , en el plano de la rueda y perpendiculares al tubo de dirección a un pivote de rótula de soporte de la carga colocado sobre un eje y posicionado en las muescas de eje de los brazos durante 100.000 ciclos de ensayo. Las fuerzas se dan en la Tabla 10. La frecuencia máxima de ensayo no debe exceder de 10Hz.

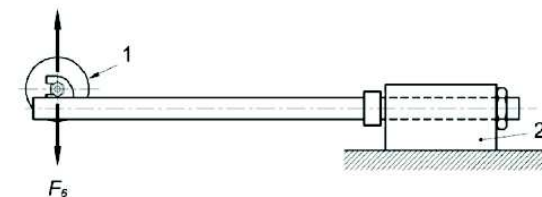
Se finaliza el ensayo si el desplazamiento (valor de la amplitud) en el punto donde se aplican las fuerzas de ensayo, aumenta en más de un 40% en horquillas de suspensión desde sus valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

Después de 100.000 ciclos se detiene el ensayo y se inspecciona cuidadosamente la muestra buscando roturas. Si se encuentran roturas el ensayo se da por concluido.

Tabla 10. Fuerzas en el soporte de la carga

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_6 (N)	± 450	± 450	± 650	± 650

La fuerza correspondiente al presente ensayo corresponde con la representada en la tabla anterior para bicicletas de montaña.



- Leyenda
- 1 Dispositivo pivotante de aplicación de la fuerza
 - 2 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección

Figura 65. Ensayo de fatiga por flexión

Los requisitos de seguridad para este ensayo son no haber roturas de ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda o del eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 45mm.

En las siguientes figuras se muestra la tensión producida por la carga F_6 en el estudio de fatiga por simulación. El sistema de cargas genera un campo tensional que alcanza un valor crítico de 149Mpa en la arista del casquillo inferior, tal y como ocurría en el ensayo de flexión. Este valor es algo menor que el resultado del ensayo de flexión pura aunque por fatiga las piezas fallan por debajo de su límite elástico. Por ello se ha utilizado la herramienta Fatigue tool disponible en el software utilizado. Dicha herramienta utiliza las condiciones iniciales dadas para generar un estado de carga sinusoidal. El software continúa con el ensayo hasta alcanzar la deformación permanente de la pieza.

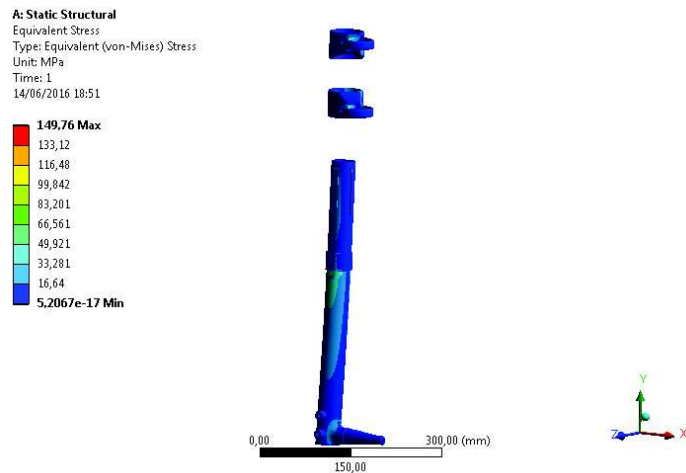


Figura 66. Ensayo de fatiga por flexión. Tensión equivalente de Von Mises

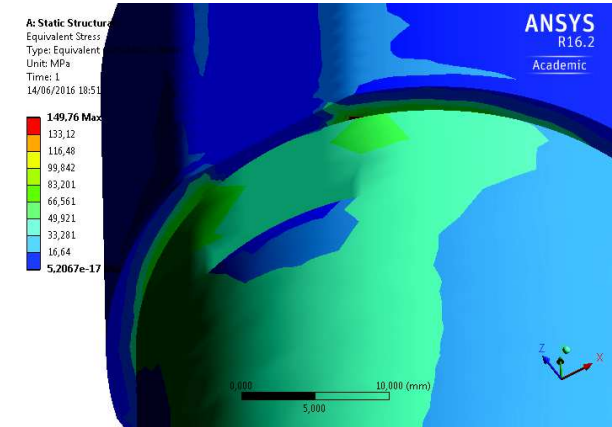


Figura 67. Ensayo de fatiga por flexión. Tensión equivalente de Von Mises. Vista de detalle

El desplazamiento máximo corresponde con 4,76mm como se muestra en la Figura 68.

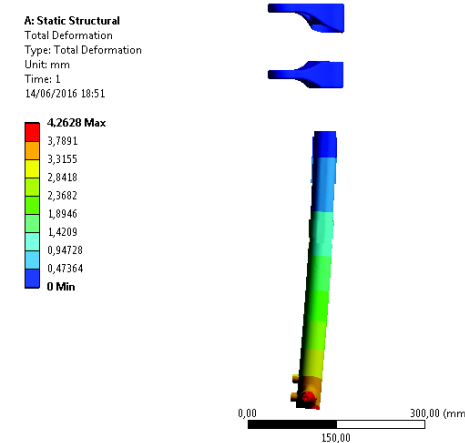


Figura 68. Ensayo de fatiga por flexión. Desplazamientos

Como muestra la siguiente figura, la pieza aguanta 439.350 ciclos antes de producirse la rotura

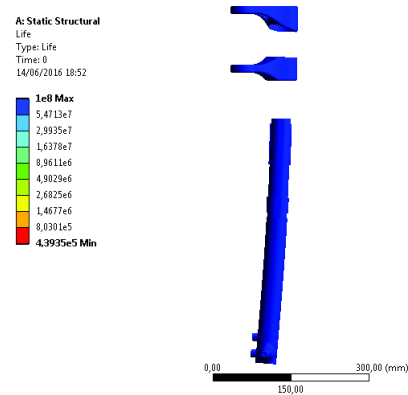


Figura 69. Ensayo de fatiga por flexión. Ciclos de vida

En la Figura 70 se puede ver la zona por donde la horquilla rompería. Ésta es el casquillo inferior. Esto concuerda con el mapa de tensiones comentado previamente.

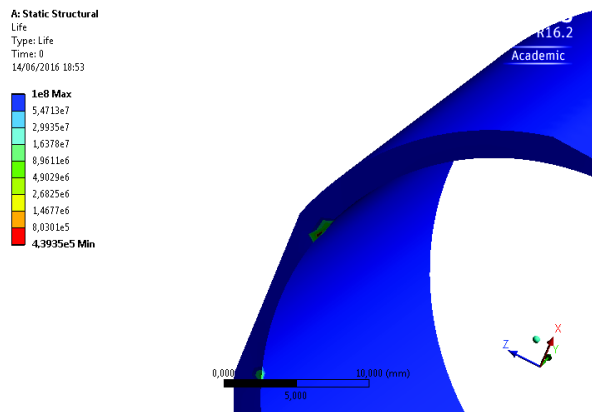
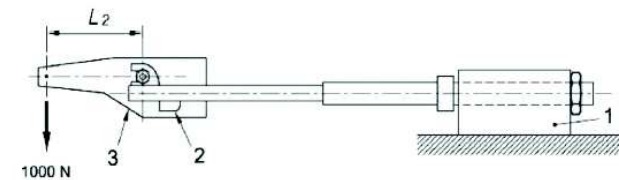


Figura 70. Ensayo de fatiga por flexión. Zona de rotura por fatiga

8.5.1.5 Horquilla para freno de disco/tambor. Ensayo estático de par de frenada

Se coloca la horquilla en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección de acuerdo con el Anexo B apretado entre los rodamientos de dirección normales. Se coloca un eje en la horquilla y se fija al eje un adaptador pivotante recto como se muestra en la Figura 71 para ofrecer un brazo de palanca de L_2 de longitud (véase la Tabla 11) y un punto de enganche apropiado para el punto de fijación del freno.

Se aplica una fuerza hacia atrás de 1000N sobre el brazo de palanca perpendicular a la horquilla y en el plano de la rueda. Se mantiene esta fuerza durante 1 min.



Leyenda

- 1 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
- 2 Punto de fijación del freno
- 3 Adaptador de ensayo

Figura 71. Ensayo estático de par de frenada

Tabla 11. Longitud del dispositivo de fijación

Diámetro de rueda	24"	26"	650b	29" o 700c
Longitud del brazo, L_2 (mm)	305	330	249	268

Según los requisitos de seguridad presentes en la norma, al ensayar el método no debe haber roturas o fisuras visibles en ninguna parte de la horquilla.

Al ser una horquilla diseñada para ser utilizada con ruedas de 26" el brazo de palanca será el siguiente:

$$L_2 = 330mm$$

Ecuación 42

Tal y como enuncia la norma la fuerza será igual a 1000N, por tanto el momento equivalente a aplicado sobre el punto de fijación de la pinza de freno será:

$$M = F \cdot L_2 = 330mm \cdot 1000N = 330 Nm \quad \text{Ecuación 43}$$

En la Figura 72y la Figura 73 se muestra la tensión equivalente de Von Mises resultante de la simulación. Su valor máximo es de 292.75 MPa y se encuentra en el contacto entre el casquillo de fricción y el tubo.

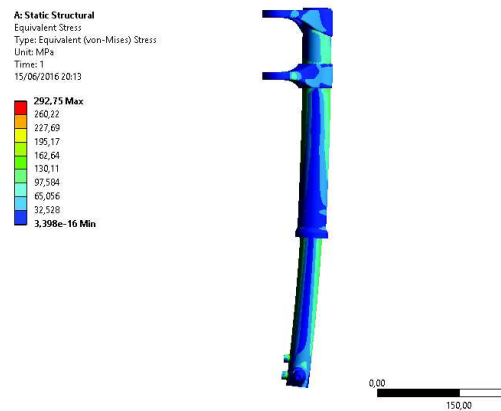


Figura 72. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Mises

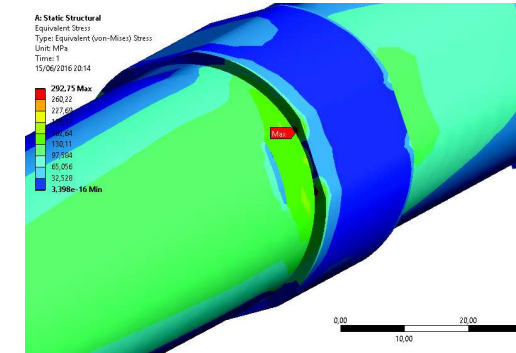


Figura 73. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Mises, tensión máxima.

Además existen grandes tensiones producidas en el punto de aplicación de las cargas, esto es, los puntos de anclaje de la pinza de freno. En la Figura 75 se puede observar como las tensiones aumentan en los radios de acuerdo por ser una zona concentradora de tensiones.

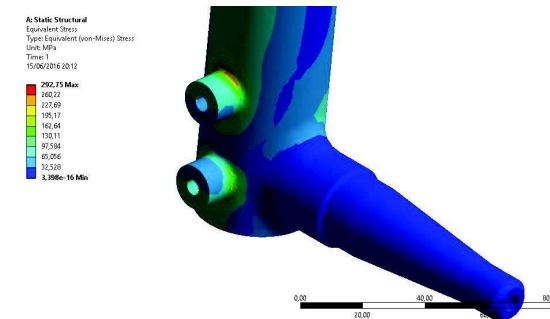


Figura 74. Ensayo estático de par de frenada. Tensión equivalente de Von Mises, detalle de zona de aplicación.

En la Figura 75 se muestra el estudio del coeficiente de seguridad ante plastificación del material frente a las cargas impuestas. El ensayo revela un coeficiente de seguridad igual a 1,45.

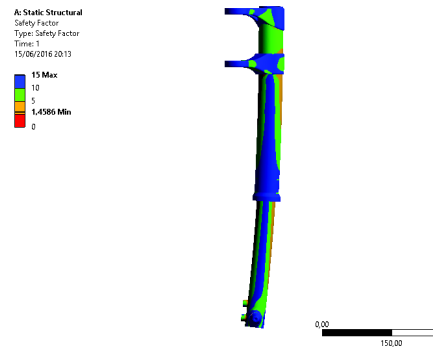


Figura 75. Ensayo estático de par de frenada. Coeficiente de seguridad

Los desplazamientos alcanzan un valor de 12.42mm, se muestra en la Figura 76.

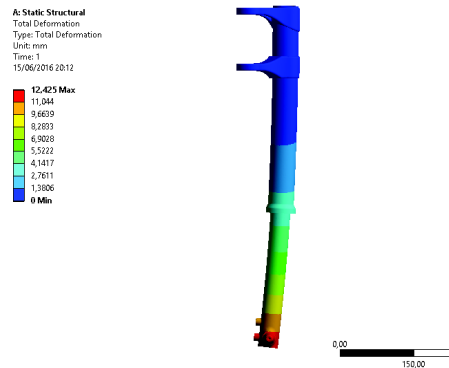


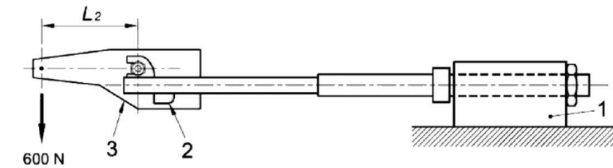
Figura 76. Ensayo estático de par de frenada. Desplazamientos

8.5.1.6 Horquilla para freno de disco/tambor. Ensayo de fatiga de la fijación del freno

Se coloca la horquilla en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección de acuerdo con el anexo B apretado entre los rodamientos de dirección normales, se coloca un eje en la horquilla y se fija al eje un adaptador pivotante recto como se muestra en la Figura 77 para ofrecer un brazo de palanca de longitud L_2 (véase la Tabla 11) y un punto de enganche apropiado para el punto de fijación del freno.

Se aplican fuerzas dinámicas repetidas de 600 N hacia atrás en la extremidad del brazo de palanca, perpendicular al eje de la horquilla y en el plano de la rueda (como se ve en la Figura 77), durante C_2 Ciclos de ensayo (véase Tabla 12).

La frecuencia máxima de ensayo se debe mantener según se especifica en el apartado 4.5 de la Norma ISO 4210-3:2014 y nunca alcanzar un valor mayor a 10 Hz.



Leyenda

- 1 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
- 2 Punto de fijación del freno
- 3 Adaptador de ensayo

Figura 77. Ensayo de fatiga de la fijación del freno

Tabla 12. Ensayo de fatiga en la fijación del freno. Número de ciclos.

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Ciclos de ensayo, C_2	12000	12000	12000	20000

Después del ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 5.6.3 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber roturas ni fisuras visibles en ninguna parte de la horquilla y, en caso de horquillas con suspensión, no debe haber separación de ninguna parte.

Como en el ensayo anteriormente realizado de fatiga por flexión de la horquilla, se utilizará la herramienta de fatiga disponible en el software utilizado. La fuerza genera un momento equivalente al valor de dicha fuerza por la distancia de actuación, en este caso, 330mm. Por tanto:

$$M = F \cdot L_2 = 330\text{mm} \cdot 600\text{N} = 198\text{ Nm} \quad \text{Ecuación 44}$$

$$F_{\min} = 0\text{N} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$F_{\max} = 600\text{N} \quad \text{Ecuación 46}$$

La tensión equivalente de Von Mises producida se expone en la Figura 82 como vista de la horquilla general y en la Figura 81 se muestra el detalle de la localización de la tensión máxima de valor 204MPa.

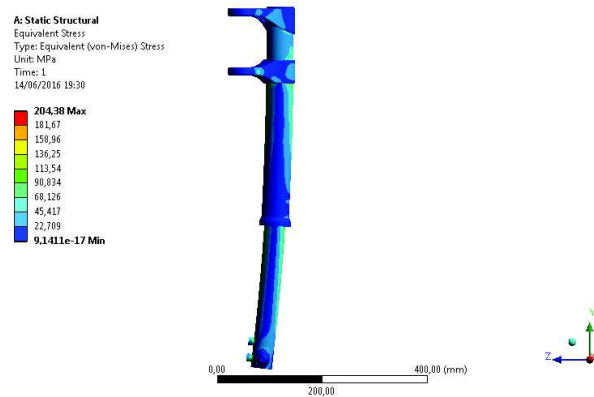


Figura 78. Ensayo de fatiga de par de frenada. Tensión equivalente de Von Mises

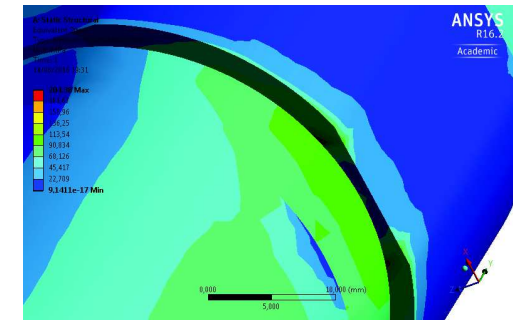


Figura 79. Ensayo de fatiga de par de frenada. Tensión equivalente de Von Mises, detalle de tensión máxima

En la Figura 79 se pueden apreciar los desplazamientos sufridos por la horquilla. El valor de deformación máxima se encuentra en 7.4mm en el extremo inferior del tubo.

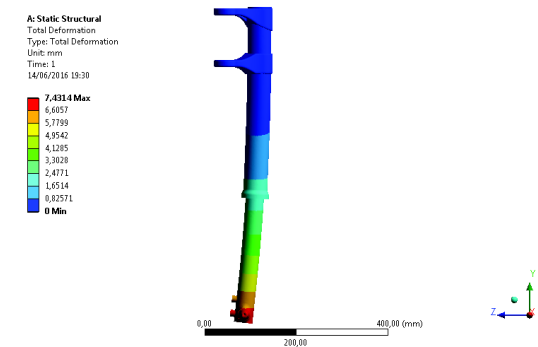


Figura 80. Ensayo de fatiga de par de frenada. Desplazamientos

Las figuras anteriores corresponden al ensayo en su carácter estático. En la Figura 80 y la Figura 78 se muestran los resultados del ensayo a fatiga del material. La horquilla alcanza 13×10^6 ciclos antes de comenzar la deformación permanente. Esto concluye que para estas condiciones de ensayo la pieza tiene vida infinita, puesto que supera el valor de 10^6 ciclos.

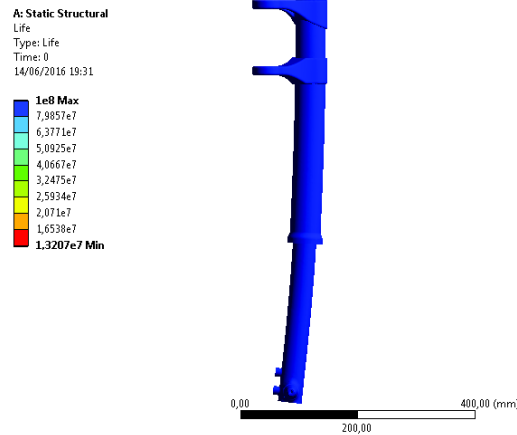


Figura 81. Ensayo de fatiga de par de frenada. Ciclos de vida

La horquilla comenzaría a deformarse permanentemente por la zona de contacto entre el tubo y el casquillo, coincidiendo con la zona de tensión máxima en el análisis estático.

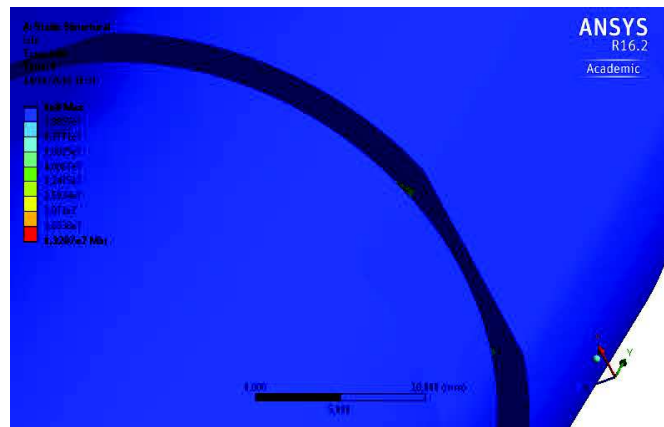


Figura 82. Ensayo de fatiga de par de frenada. Ciclos de vida, zona de rotura.

9 Resultados

A continuación se ofrece un resumen de los cálculos estructurales desarrollados con los objetivos y resultados de cada uno en la Tabla 13. Para el correcto cumplimiento de la normativa de seguridad de bicicletas es estrictamente necesaria la consecución de todos los ensayos descritos en ella.

Tabla 13. Resumen de resultados

	Solicitación	Requisitos	Resultados	Cumple
Ensayo de tracción	$F = 5000\text{ N}$	Tensión $V.M < S_e$	Tensión $V.M < S_e$	✓
Ensayo estático de flexión	$F = 1500\text{ N}$	$\Delta L < 10\text{ mm}$	$\Delta L = 9\text{ mm}$	✓
Ensayo de choque trasero	$F_1 = 220\text{ N}$ $F_2 = 1587\text{ N}$	Tensión $V.M < S_e$ $\Delta L < 45\text{ mm}$	Tensión $V.M < S_e$ $\Delta L = 10.3\text{ mm}$	✓
	$F = 2646\text{ N}$	Tensión $V.M < S_e$	Tensión $V.M < S_e$	✓
	Momento = 80 Nm	Tensión $V.M < S_e$	Tensión $V.M < S_e$	✓
Ensayo de fatiga por flexión	$F_{\min} = -660\text{ N}$ $F_{\max} = 660\text{ N}$	100.000 ciclos $\Delta L < 45\text{ mm}$	439.350 ciclos $\Delta L = 10\text{ mm}$	✓
Ensayo estático de par de frenada	$F = 1000\text{ N}$ $M = 330\text{ N}$	Tensión $VM < S_e$	Tensión $VM < S_e$	✓
Ensayo a fatiga de par de frenada	$F_{\min} = 0\text{ N}$ $F_{\max} = 600\text{ N}$ $M = 198\text{ N}$	$1.2 \cdot 10^4$ ciclos	$1.3 \cdot 10^7$ ciclos	✓

10 Presupuesto

10.1 Control de dedicación

En la elaboración del presente proyecto se ha requerido a un ingeniero mecánico por 300 horas divididas en tres fases, las cuales se han separado según ha variado la dificultad, el número de horas dedicadas y el salario a recibir.

En primer lugar se consideran las horas empleadas en el estudio, análisis y diseño de la horquilla monobrazo para una bicicleta de montaña. En este apartado se incluye la investigación previa acerca de los mejores materiales para el uso de la horquilla, el diseño, estudio de ensayos relativos a la normativa de seguridad de bicicletas para garantizar su rigidez y modificaciones estructurales. Todo ello suma un total de 220 horas.

Al ser un trabajo principalmente de diseño y cálculo estructural, la tarifa es de un valor elevado aunque asumible por el cliente, y en este caso es de 40€/hora.

El número total de horas dirigidas a la documentación y a la confección del presente proyecto fue la segunda fase a tener en cuenta. Esta parte tuvo una ocupación total de 60 horas, a un precio de 25€/hora, puesto que la realización del informe escrito no requiere conocimientos especiales.

La elaboración de planos ha sido la última fase en esta primera partida, y se aplicaron un total de 12 horas. En esta última parte se demuestran conocimientos previos de creación y edición de planos, acabado superficial y tolerancias. Por todo ello se establece una cuota de 30€/hora.

En la Tabla 14 se recoge el presupuesto correspondiente a las horas realizadas por el ingeniero responsable del presente proyecto desglosado en las diferentes horas anteriormente especificadas.

Tabla 14. Presupuesto de personal

Nº	Elemento	€/h	Horas imputadas (h)	Total (€)
1	Diseño y cálculo estructural	40	200	8000
2	Realización de documento	25	60	1500
3	Realización de planos	30	40	1200
Subtotal			300	10700

10.2 Herramientas y materiales empleados

En este apartado se especificarán las herramientas que han sido necesarias para la consecución del proyecto.

En primer lugar, el coste de la licencia del software Dassault Systems Solidworks 2015 supuso un valor de 5000€. Se amortizaría en unos cuatro años, (ya que en más tiempo el programa quedaría obsoleto). Se aprovechó para el modelado de cada pieza de la suspensión y el ensamblaje de éstas. Su uso ha sido de unas 140 horas.

La licencia de Microsoft Office implicó un coste de 80€ y aproximadamente se amortizaría en un año. Se ha usado a lo largo de toda la redacción del proyecto y ha supuesto unas 60 horas de trabajo.

Por último la licencia de software Ansys Workbench de cálculo por elementos finitos alcanza un precio de 7000 €. Ésta se amortizará en cuatro años como el software de diseño.

El presupuesto se muestra en la Tabla 15, donde se ha contado con la amortización de un año de cada licencia.

Tabla 15. Desglose presupuesto de material

Nº	Elemento	Precio licencia (€)	Horas de uso (h)	Total (€)
1	Licencia Solidworks 2015	5000	170	1250
2	Licencia Microsoft Office 2013	80	60	80
3	Licencia Ansys 16.2 Workbench	7000	30	1750
Subtotal			260	1955

10.3 Presupuesto general

Recopilando todos los gastos producidos por la realización del proyecto, se muestra a continuación en la el coste total del proyecto.

Tabla 16. Presupuesto final

Nº	Elemento	Total (€)
1	Presupuesto material	10700
2	Presupuesto de personal	1955
Total		12655

11 Conclusiones

Con la realización del presente proyecto se ha conseguido cumplir con todos los objetivos demandados para la creación de una horquilla monobrazo para uso en Descenso. Para ello se han logrado todos los requisitos exigidos por la norma *EN UNE 2410: Requisitos de seguridad para bicicletas* para una horquilla invertida monobrazo para uso en competición de descenso.

Para llegar a cumplir los objetivos, se ha realizado un diseño de una horquilla invertida monobrazo mediante un software de diseño asistido por ordenador, Solidworks. Se han diseñado la totalidad de las piezas incluidas en la suspensión delantera, a excepción de tornillos y juntas tóricas por ser elementos normalizados. Cada pieza ha sido diseñada según la función que va a desempeñar dentro del conjunto. Como añadido, el presente diseño ha sido realizado de manera que la horquilla sea totalmente desmontable, dando cabida a la sustitución de piezas. De esta forma se podrá sustituir la válvula de compresión o rebote para cambiar el comportamiento dinámico de la suspensión.

Después, utilizando el software comercial de análisis por elementos finitos, Ansys Workbench, se han realizado los ensayos consistentes en la simulación de aplicación las cargas y condiciones de contorno, descritos en la norma de requisitos de seguridad para bicicletas.

Con la completa aprobación de todos los ensayos simulados, la horquilla monobrazo es apta para el correspondiente marcado CE del producto, indicador fundamental de la conformidad del producto con la legislación de la UE y así permitir la libre circulación del producto dentro del mercado europeo.

12 Desarrollo futuro

Para alcanzar la meta de la construcción del prototipo de la horquilla monobrazo presentada en este proyecto una vez realizado el diseño y simulado sus condiciones de operación es indispensable completar los siguientes estudios pendientes.

12.1 Ensayos complementarios de la Norma UNE EN 2410

En el presente proyecto se han realizado todos los ensayos presentes en la norma de seguridad de bicicletas europea que competen a una horquilla de montaña como accesorio de bicicleta que se diseña por separado. Será necesario realizar los ensayos pertinentes a una bicicleta completa con la horquilla montada, como pueden ser:

- EN UNE 2410-6: Horquilla + cuadro
- EN UNE 2410-6: Juego del neumático

12.2 Estudio fluido-neumático

Será imprescindible realizar un estudio previo del funcionamiento de la horquilla para establecer los valores óptimos de presión de aire adecuada y la viscosidad del fluido utilizado en el grupo hidráulico para conseguir el índice de amortiguamiento deseado. Dichos valores, junto a otras variables como pueden ser el área de paso de las válvulas de rebote y compresión o el material con el que se componen los shims-stack y su geometría, establecen diferentes parámetros como la velocidad de compresión y rebote y la constante de rigidez del resorte de aire. Esto es un estudio en profundidad del funcionamiento del amortiguador utilizando herramientas de trabajo como software específico de análisis dinámico de fluidos por ordenador (CFD).

13 Bibliografía

- [1]"Cannondale," 2016. [Online]. Available: <http://www.cannondale.com/es-ES/Europe#Lefty>.
- [2]B. St Edmunds *et al.*, "Cannondale Lefty hybrid 29er (2013) parts list and exploded diagram: CannondaleSpares.com," 2013. [Online]. Available: http://www.cannondalespares.com/browse_by_component/lefty-29er-2013.
- [3]"REI co.op,". [Online]. Available: <https://www.rei.com/learn/expert-advice/suspension.html>.
- [4]F. F. Inc, "40," 2008. [Online]. Available: http://www.ridefox.com/fox_tech_center/owners_manuals/09/Spa/Content/Forks/40/40.htm.
- [5]A. Osuna and H. Hamzah, "Linkage Design," 2016. [Online]. Available: <http://linkagedesign.blogspot.com.es/search/label/Cannondale>.
- [6]D. Rodriguez, "Sistemas de suspension: Componentes," 2014. [Online]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>.
- [7]Juan carlos andresotal, "Dinámica vertical. Suspensiones," Alejand_Mendoza, 2016. [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/juancarlosandresotal/teoria-suspensiones>.
- [8]"Oscilaciones amortiguadas (GIE)," . [Online]. Available: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Oscilaciones_amortiguadas_\(GIE\)#Caracterizaci.C3.B3n_de_las_soluciones](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Oscilaciones_amortiguadas_(GIE)#Caracterizaci.C3.B3n_de_las_soluciones).
- [9]J. Hernández Valencia, "Guía N° 1. Historia suspensión," 2007. [Online]. Available: <http://www.etp.uda.cl/old/areas/electromecanica/MODULOS%20%20TERCERO/SISTEMAS%20DE%20DIRECCI%C3%93N%20Y%20SUSPENSI%C3%93N/Gu%C3%ADa%20N%C2%BA%201.%20Historia.pdf>.
- [10]I. J. Alfaro, "Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección," . [Online]. Available: http://www.academia.edu/17178998/Circuitos_de_Fluidos._Suspensi%C3%B3n_y_Direcci%C3%B3n. Accessed: Jun. 22,.
- [11]"Diferentes tipos de horquillas," in *Mantenimiento*, Bikelocos, 2011. [Online]. Available: <http://www.bikelocos.com/diferentes-tipos-de-horquillas/>.
- [12]"How suspension works,". [Online]. Available: <http://www.maultechatv.com/techguides/how%20suspension%20works.php>.
- [13]A. Osuna and H. Hamzah, "Cámara de aire AWK," 2016. [Online]. Available: <http://linkagedesign.blogspot.com.es/2016/03/camara-de-aire-awk.html>.
- [14]"INTERNALS,". [Online]. Available: <http://www.avalanchedownhillracing.com/internals.html>.



[15]"Mi Ciudad en Bici," JC.Cavallero", 2012. [Online]. Available:
<https://miciudadenbici.wordpress.com/>.

[16]"B JuntasToricas Juntas EQ," Epidor, 2008. [Online]. Available:
http://www.epidor.com/documentos/B-JuntasToricas_JuntasEQ.pdf.

[17]R. S. Baamonde, "Horquillas de mountain bike (II). Otros conceptos importantes,"
Diario de un Campista, 2015. [Online]. Available:
<http://diariodeuncampista.com/2015/01/horquillas-de-mountain-bike-ii-otros-conceptos-importantes/>.

[18]P. Baldissera and C. Delprete, "Structural design of a composite bicycle fork," vol.
60, pp. 102–107, Aug. 2014. [Online]. Available:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914002295>.

[19]SRaM LLC, "SRAM® oRiginAl pARtS," 2014. [Online]. Available: https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/4Xf78mjFrEffbdddhtYmMCtIgQ05gKb5iAitb5OfRM/mtime:1404405152/sites/default/files/techdocs/2015_rockshox_spc_rev_a.pdf.

[20]W. Bauer, *Hydropneumatic suspension systems*. Springer Science & Business Media, 2010.



14 Anexo B: Norma EN UNE 2410

A continuación se anexan los extractos de la Norma aplicada para el correcto marcado CE. Estos son los métodos de ensayo aplicados y los requisitos de seguridad pertinentes.



norma española

UNE-EN ISO 4210-2

Diciembre 2015

TÍTULO	<p>Ciclos</p> <p>Requisitos de seguridad para bicicletas</p> <p>Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras</p> <p>(ISO 4210-2:2015)</p> <p><i>Cycles. Safety requirements for bicycles. Part 2: Requirements for city and trekking, young adult, mountain and racing bicycles (ISO 4210-2:2015)</i></p> <p><i>Cycles. Exigences de sécurité des bicyclettes. Partie 2: Exigences pour bicyclettes de ville et de randonnée, de jeune adulte, de montagne et de course (ISO 4210-2:2015)</i></p>
CORRESPONDENCIA	<p>Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 4210-2:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 4210-2:2015.</p>
OBSERVACIONES	<p>Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 4210-2:2014.</p>
ANTECEDENTES	<p>Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 121 Ciclos.</p>

Editada e impresa por AENOR.
Depósito legal: M 59418/2015

© AENOR 2015
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

40 Páginas

Este documento forma parte de la biblioteca de UNIV.CARLOS III DE MADRID



AENOR

NORMA EUROPEA
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN ISO 4210-2

Septiembre 2015

ICS 43.150

Sustituye a EN ISO 4210-2:2014

Versión en español

Ciclos Requisitos de seguridad para bicicletas Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras (ISO 4210-2:2015)

Cycles. Safety requirements for bicycles.
Part 2: Requirements for city and
trekking, young adult, mountain and
racing bicycles. (ISO 4210-2:2015)

Cycles. Exigences de sécurité des
bicyclettes. Partie 2: Exigences pour
bicyclettes de ville et de randonnée, de
jeune adulte, de montagne et de course.
(ISO 4210-2:2015)

Fahrräder. Sicherheitstechnische
Anforderungen an Fahrräder. Teil 2:
Anforderungen für City- und
Trekkingfahrräder, Jugendfahrräder,
Geländefahrräder (Mountainbikes) und
Rennräder. (ISO 4210-2:2015)

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2015-08-08.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia, Suiza y Turquía.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

© 2015 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

4.8.3 Conjunto cuadro y horquilla delantera – Ensayo de choque (caída de cuadro)

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.2 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber fisuras ni roturas visibles en el conjunto y tras el segundo impacto no debe haber ninguna separación de ninguna pieza de ningún sistema de suspensión. La deformación permanente medida entre los centros de los ejes de las ruedas no debe exceder los valores especificados en la tabla 6.

Tabla 6 – Valores de la deformación permanente (caída de cuadro)

Medidas en milímetros				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para jóvenes/adultos	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	60	60	60	15

4.8.4 Cuadro – Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.3 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar en más de un 20% de los valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.8.5 Cuadro – Ensayo de fatiga con fuerzas horizontales

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.4 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar más de un 20% de los valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.8.6 Cuadro – Ensayo de fatiga con una fuerza vertical

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.5 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar más de un 20% del valor inicial (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.9 Horquilla delantera

4.9.1 Generalidades

Los apartados 4.9.2, 4.9.4, 4.9.5 y 4.9.6 se aplican a todos los tipos de horquillas.

Para los ensayos de resistencia de los apartados 4.9.4, 4.9.5, 4.9.6, y 4.9.7, las horquillas de suspensión deben controlarse en su estado de longitud libre, no comprimidas.

4.9.2 Medios de posicionamiento del eje y de retención de la rueda

Las ranuras u otros dispositivos de posicionamiento del eje de rueda en la horquilla delantera deben ser tales que cuando el eje o los conos están firmemente mantenidos contra la cara superior de las muescas, la rueda delantera se encuentre centrada en relación a la horquilla.

La horquilla delantera y la rueda deben también satisfacer a los requisitos de los apartados 4.10.4 y 4.10.5.

4.9.3 Horquillas de suspensión – Requisitos particulares

4.9.3.1 Ensayo de paso del neumático

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.1 de la Norma ISO 4210-6:2015, el neumático no debe contactar con la cabeza de la horquilla ni separarse los componentes.

4.9.3.2 Ensayo de tracción

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.2 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber ninguna separación ni aflojamiento de ninguna parte del conjunto y los componentes telescópicos tubulares de cualquier brazo de horquilla no se deben separar por efecto de la fuerza de ensayo.

4.9.4 Horquilla delantera – Ensayo estático de flexión

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.3 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber fisuras ni roturas visibles en ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda, o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 10 mm.

4.9.5 Horquilla delantera – Ensayo de choque hacia atrás

4.9.5.1 Horquillas hechas completamente de metal

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.4.1 de la Norma ISO 4210-6:2015, si hay alguna rotura o fisura visible en cualquier parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, excede de los 45 mm, se debe considerar que la horquilla ha fallado.

Si la horquilla cumple con el primer criterio, entonces se debe someter a un segundo ensayo como se describe en el apartado 5.4.2 de la Norma ISO 4210-6:2015 después de lo cual no debe mostrar roturas. Si la horquilla cumple con el primer y segundo criterio de ensayo, entonces se debe someter a un tercer ensayo como se describe en el apartado 5.4.3 de la Norma ISO 4210-6:2015, independientemente de la cantidad de deformación permanente, no debe haber movimiento relativo entre el tubo de la dirección y la cabeza de la horquilla.

4.9.5.2 Horquillas con piezas de material compuesto

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.4.1 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber ninguna rotura o fisura visible en ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda, o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 45 mm. Si la horquilla cumple el primer criterio de ensayo, entonces se debe someter a un segundo ensayo, como se describe en el apartado 5.4.3 de la Norma ISO 4210-6:2015. En caso de par en la horquilla, independientemente de la cantidad de deformación permanente, no debe haber movimiento relativo entre el tubo de la dirección y la cabeza de la horquilla.

4.9.6 Horquilla delantera – Ensayo de fatiga por flexión más ensayo de choque trasero

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.5 de la Norma ISO 4210-6:2015 no debe haber roturas de ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda o del eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 45 mm.

Para horquillas de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no se deben incrementar en más de un 20% para horquillas rígidas o en más de un 40% para horquillas con suspensión desde sus valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).



4.9.7 Horquillas destinadas para su uso con frenos de tambor o de disco

4.9.7.1 Ensayo estático de par de frenado

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.6.2 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber roturas o fisuras visibles en ninguna parte de la horquilla.

4.9.7.2 Horquilla para freno de tambor/disco – Ensayo de fatiga del punto de fijación del freno

Después del ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 5.6.3 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber roturas ni fisuras visibles en ninguna parte de la horquilla y, en caso de horquillas con suspensión, no debe haber separación de ninguna parte.

4.9.8 Ensayo de tracción para una horquilla no soldada

4.9.8.1 Generalidades

Este ensayo es para horquillas donde los brazos y/o la horquilla de dirección están asegurados en la cabeza de la horquilla mediante presión, atornillado, adhesivos o cualquier otro método distinto de soldado o soldado fuerte. Puede ser conveniente combinar este ensayo con el ensayo de retención de rueda del apartado 4.10.4.

4.9.8.2 Requisito

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.7 de la Norma ISO 4210-6:2015, no debe haber desprendimiento ni aflojado de ninguna parte del conjunto.

4.10 Ruedas y conjunto de rueda/neumático

4.10.1 Conjunto ruedas/neumático – Tolerancia de concentricidad y tolerancia lateral

Al medir según el método descrito en el apartado 4.1 de la Norma ISO 4210-7:2014, el alabeo no debe exceder los valores que se dan en la tabla 7.

Tabla 7 – Conjunto de rueda/neumático – Tolerancia de concentricidad y lateral

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta		Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Tolerancia de concentricidad y lateral	Destinada a frenos de llanta	1	1	1	0,7
	No destinada a frenos de llanta	2	2	2	

4.10.2 Conjunto de rueda/neumático – Paso de rueda

La alineación del conjunto de rueda en una bicicleta debe permitir un paso de rueda no inferior a los valores dados en la tabla 8 entre el neumático y cualquier elemento del cuadro o de la horquilla o de un guardabarros delantero y sus tornillos de fijación.



norma española

UNE-EN ISO 4210-6 V2

Diciembre 2015

TÍTULO	<p>Círculos</p> <p>Requisitos de seguridad para bicicletas</p> <p>Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla</p> <p>(ISO 4210-6:2015)</p> <p><i>Cycles. Safety requirements for bicycles. Part 6: Frame and fork test methods (ISO 4210-6:2015).</i></p> <p><i>Cycles. Exigences de sécurité des bicyclettes. Partie 6: Méthodes d'essai du cadre et de la fourche (ISO 4210-6:2015).</i></p>
CORRESPONDENCIA	<p>Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 4210-6:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 4210-6:2015.</p>
OBSERVACIONES	<p>Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 4210-6:2015.</p>
ANTECEDENTES	<p>Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 121 Ciclos.</p>

Edición e impresión por AENOR.
Depósito legal: M. 39415/2015

© AENOR 2015.
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO DEBEN DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28014 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

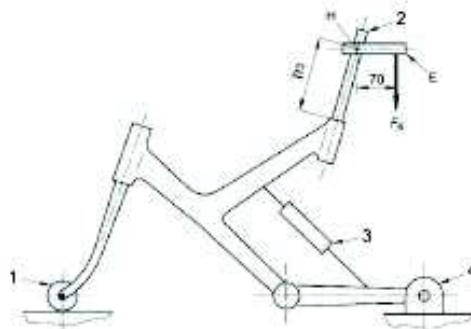
Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

27 páginas

Tabla 5 – Fuerzas sobre la tija del sillín

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_s	1 000	500	1 200	1 200

Medidas en milímetros



Leyenda

- I Extensión horizontal rígida hacia atrás
- II Posición equivalente al centro de la fijación del sillín con la bicicleta
- 1 Rodillo que puede girar libremente
- 2 Barra de acero
- 3 Unidad de suspensión bloqueada o una unión rígida para varias pivotantes
- 4 Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero

Figura 5 – Cuadro. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical

5 Métodos de ensayo para horquillas

5.1 Horquillas de suspensión. Ensayo de juego del neumático

Para el ensayo del juego del neumático, primero se debe comprobar y ajustar si fuera necesario la horquilla de suspensión de acuerdo con los siguientes puntos:

- a) se infla el neumático a la presión máxima de inflado;
- b) se sitúa la horquilla en su condición de reposo para tener el mayor desplazamiento entre las barras y las botellas de la suspensión;
- c) si la horquilla de suspensión se puede bloquear, se pone en su posición abierta;
- d) si la horquilla tiene un ajuste del muelle, se pone en su posición más suave;

e) si la horquilla tiene un dispositivo neumático, se infla la cámara o las dos cámaras a sus presiones mínimas de acuerdo con las instrucciones del fabricante;

f) si la horquilla tiene un dispositivo de amortiguación, se pone en su posición más lenta.

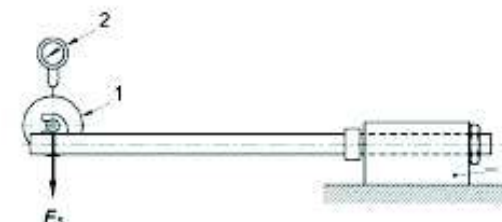
Con un conjunto de rueda y neumático montado en la horquilla, se aplica una fuerza de 2 800 N sobre la rueda en el sentido hacia la corona de la horquilla y paralelo al eje del tubo de la horquilla. Se mantiene esta fuerza durante 1 min.

5.2 Horquillas de suspensión. Ensayo de tracción

Se fija rigidamente el tubo de dirección en un dispositivo rígido apropiado de fijación, evitando que las fuerzas de apriete se apliquen sobre la cabeza de la horquilla, y se aplica una fuerza de tracción de 2 300 N repartido de manera igual entre las dos puntas en una dirección paralela al eje del tubo de dirección y en el sentido que se aleja de la cabeza de la horquilla. Se mantiene esta fuerza durante 1 min.

5.3 Horquilla delantera. Ensayo estático de flexión

Se coloca la horquilla de acuerdo con el anexo B y se instala un pivote de rótula de soporte de la carga sobre un eje colocado en las muescas de los brazos (véase la figura 6). Se coloca un dispositivo de medición de la flecha sobre el punto de fijación de la carga para medir la flecha y la deformación permanente de la horquilla perpendicularmente al eje del tubo de dirección y en el plano de la rueda.



Leyenda

- 1 Fijación de la carga que puede pivotar sobre el eje
- 2 Dispositivo de medición de la flecha
- 3 Montaje rígido incluyendo los rodamientos de dirección

Figura 6 – Horquilla delantera. Ensayo estático de flexión (montaje típico)

Se aplica al rodillo una fuerza estática de precarga de 100 N que sea perpendicular al eje del tubo de dirección, en el sentido opuesto al desplazamiento y en el plano de la rueda. Se suprime y después se aplica esta carga hasta que se obtenga un valor de flexión estable. Se pone a cero el dispositivo de medición de la flecha.

Se aumenta la fuerza estática a F_1 y se mantiene esta fuerza durante 1 min, después se vuelve a reducir la fuerza a 100 N y se registra la eventual deformación permanente. Las fuerzas se dan en la tabla 6.

Tabla 6 – Fuerzas en el soporte de la carga

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_1	1 000	1 000	1 500	1 200

5.4 Horquilla delantera. Ensayo de choque trasero

5.4.1 Método de ensayo 1

Se coloca la horquilla de acuerdo con el anexo B como se muestra en la figura 7. Se instala en la horquilla un rodillo que tenga una masa inferior o igual a 1 kg y con dimensiones acordes con las de la figura 8. La dureza del rodillo no debe ser inferior a 60 HRC en la superficie de choque.

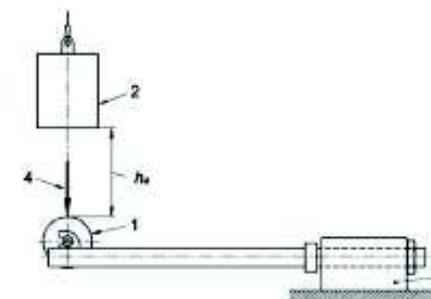
Se coloca un percutor que tenga una masa de $22,5 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$ sobre el rodillo fijado en las puntas de la horquilla de tal forma que ejerza una fuerza en el sentido opuesto al desplazamiento y en el plano de la rueda. Se coloca un dispositivo de medición de la flecha bajo el rodillo y se registra la posición de la cara inferior del rodillo en una dirección perpendicular al eje del tubo de dirección y en el plano de la rueda y se anota la posición vertical de la horquilla.

Se retira el dispositivo de medición de la flecha, se levanta el percutor a una altura h_1 y se suelta para que golpee el rodillo contra la dirección de inclinación de la horquilla. En la tabla 7 se dan las alturas de caída. El percutor va a rebotar, lo que es normal. Cuando el percutor se detenga sobre el rodillo, se mide la deformación permanente bajo el rodillo.

NOTA: Véase el anexo B de la Norma ISO 4210-3:2014

Tabla 7 – Alturas de caída

Tipo de bicicleta		Medidas en milímetros			
		Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Altura de caída, h_1	Horquillas hechas completamente de metal	180	180	360	360
	Horquillas que contengan piezas de material compuesto	320	320	600	640

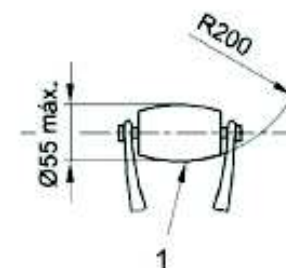


Leyenda

- h_1 Altura de caída
- 1 Rodillo de pequeña masa (1 kg máx.)
- 2 Percutor de 22,5 kg
- 3 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
- 4 Sentido del choque hacia atrás

Figura 7 – Horquilla delantera. Ensayo de choque hacia atrás

Medidas en milímetros



Leyenda

- 1 Rodillo de pequeña masa (1 kg máx.)

Figura 8 – Rodillo de pequeña masa

5.4.2 Método de ensayo 2

Este ensayo es similar a lo descrito en el apartado 5.4.1 excepto en la altura de caída.

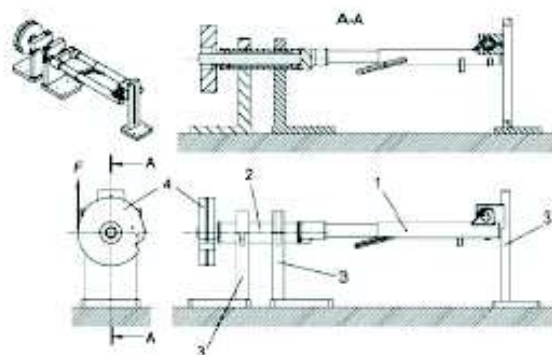
Se coloca la horquilla utilizada para el ensayo del apartado 5.4.1 como se muestra en la figura 7 y se instala un rodillo de pequeña masa. Se levanta el percutor a una altura de 600 mm sobre el rodillo y se suelta para que golpee contra la dirección de inclinación de la horquilla. La sección se aplica a horquillas en el apartado 4.9.5.1 de la Norma ISO 4210-2:2015.

5.4.3 Método de ensayo 3

Se aplica un par de T sobre el conjunto y se mantiene durante 1 min en cada dirección posible de rotación sobre el eje de dirección. El par se da en la tabla 8 y en la figura 9 se muestra un equipamiento típico de ensayo.

Tabla 8 – Par en la horquilla

Par en newton-metro				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Par, T	50	50	80	80



Leyenda

1. Horquilla delantera
2. Dispositivo de fijación de la horquilla (dispositivo de fijación representativo del tubo de la dirección)
3. Soporte rígido
4. Adaptador de ensayo

Figura 9 – Ensayo de torsión de la horquilla (ejemplo típico)

5.5 Horquilla delantera. Ensayo de fatiga por flexión y ensayo de choque hacia atrás

Se coloca la horquilla de acuerdo con el anexo B como se muestra en la figura 10.

Se aplican ciclos de fuerzas dinámicas totalmente alternadas de F_k en el plano de la rueda y perpendiculares al tubo de dirección a un pivote de rotación de soporte de la carga colocado sobre un eje y posicionado en las marcas de eje de los brazos durante 100 000 ciclos de ensayo. Las fuerzas se dan en la tabla 9. La frecuencia máxima de ensayo se debe mantener como se especifica en el apartado 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014.

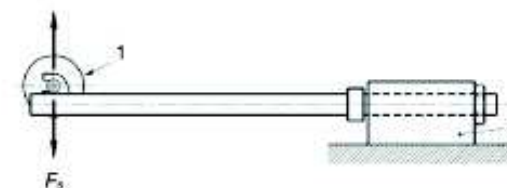
Se finaliza el ensayo si el desplazamiento (valor de la amplitud) en el punto donde se aplican las fuerzas de ensayo, aumenta en más de un 20% para horquillas rígidas o en más de un 40% en horquillas de suspensión desde sus valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

Después de 100 000 ciclos se detiene el ensayo y se inspecciona cuidadosamente la muestra buscando roturas. Si se encuentran roturas el ensayo se da por concluido.

Si la muestra completa los 100 000 ciclos sin exceder los límites de desplazamiento indicados, y en caso de no observar roturas, se efectúa el ensayo de resistencia al choque descrito en el apartado 5.4.1 (en la tabla 7 se dan las alturas de caída). Cuando el percutor está en reposo sobre el rodillo, se mide la deformación permanente bajo el rodillo y se inspecciona cuidadosamente la muestra en busca de roturas.

Tabla 9 – Fuerzas en el soporte de carga

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_k	± 450	± 450	± 650	± 620



Leyenda

1. Dispositivo pivotante de aplicación de la fuerza
2. Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección

Figura 10 – Horquilla delantera. Ensayo de fatiga de flexión

5.6 Horquillas diseñadas para ser utilizadas con frenos de tambor o de disco

5.6.1 Generalidades

Cuando una horquilla se ha diseñado para ser utilizada con un freno de disco o de tambor y se suministra como equipo de origen o como accesorio, el fabricante de horquillas debe proveer un punto de fijación sobre la barra de horquilla para el brazo de palanca o el estribo del freno.

Durante los ensayos efectuados según el método descrito en los apartados 5.6.2 y 5.6.3 y cuando esta previsto más de un punto de fijación para un freno de disco o de tambor, se debe aplicar lo siguiente:

- si la bicicleta se suministra completa, el adaptador de ensayo debe fijarse al punto de montaje utilizado sobre la bicicleta. Si se suministrara un soporte, se debe usar para efectuar el ensayo;
- si la horquilla se suministra como accesorio y tiene más de un punto de montaje, deben efectuarse ensayos separados para cada uno de los puntos de fijación sobre horquillas diferentes.

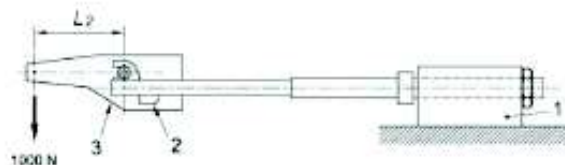
5.6.2 Horquilla para freno de disco/tambor. Ensayo estático de par de frenado

Se coloca la horquilla en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección de acuerdo con el anexo B, apretado entre los rodamientos de dirección normales. Se coloca un eje en la horquilla y se fija al eje un adaptador pivotante recto como se muestra en la figura 11 para ofrecer un brazo de palanca de L_0 de longitud (véase la tabla 10) y un punto de enganche apropiado para el punto de fijación del freno. Si el tamaño de la rueda no está en la tabla 10, la longitud L_0 debe ser igual a la mitad del diámetro de la rueda.

Se aplica una fuerza hacia atrás de 1 000 N sobre el brazo de palanca perpendicular a la horquilla y en el plano de la rueda. Se mantiene esta fuerza durante 1 min.

Tabla 10 – Longitud del dispositivo de fijación

Diámetro de la rueda	Medidas en milímetros			
	24"	26"	650b	29" o 700c
Longitud del brazo, L_0	305	330	349	368



Leyenda

- 1 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
- 2 Punto de fijación del freno
- 3 Adaptador de ensayo

Figura 11 – Horquilla para freno de tambor/disco. Ensayo estático de par de frenado

5.6.3 Horquilla para freno de tambor/disco. Ensayo de fatiga de la fijación del freno

Se coloca la horquilla en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección de acuerdo con el anexo B, apretado entre los rodamientos de dirección normales, se coloca un eje en la horquilla y se fija al eje un adaptador pivotante recto como se muestra en la figura 12 para ofrecer un brazo de palanca de longitud L_0 (véase la tabla 10) y un punto de enganche apropiado para el punto de fijación del freno.

Se aplican fuerzas dinámicas repetidas de 600 N hacia atrás en la extremidad del brazo de palanca, perpendicular al eje de la horquilla y en el plano de la rueda (como se muestra en la figura 12), durante C_0 ciclos de ensayo (véase la tabla 11). La frecuencia máxima de ensayo se debe mantener según se especifica en el apartado 4.5 de la Norma ISO 4210-3:2014.

Tabla 11 – Ciclos mínimos de ensayo

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Ciclos de ensayo, C_0	12 000	12 000	12 000	20 000



Leyenda

- 1 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
- 2 Punto de fijación del freno
- 3 Adaptador de ensayo

Figura 12 – Horquilla para freno de tambor/disco. Ensayo de fatiga de la fijación del freno

5.7 Ensayo de tracción para una horquilla no soldada

Se fija rigidamente el tubo de dirección en un dispositivo rígido apropiado de fijación, evitando que las fuerzas de apriete se apliquen sobre la cabeza de la horquilla, y se aplica una fuerza de tracción de 5 000 N repartida de manera igual entre las dos puntas durante 1 min en una dirección paralela al eje del tubo de la horquilla.

Anexo A (Normativo)

Características de una falsa horquilla

Los ensayos para horquillas se deben diseñar para montarse de manera similar a la horquilla original, o de una manera que utilice procedimientos típicos (véase el anexo B).

Cuando las horquillas de ensayo están montadas, deben tener la misma longitud (eje a corona), L , que la horquilla más larga diseñada para usar con el cuadro.

La flecha de la horquilla de ensayo se debe medir en el sentido de la aplicación de la fuerza frente al centro del eje, como resultado de la aplicación de una fuerza vertical de 1 000 N. Se debe asegurar la horquilla en una posición horizontal reteniendo el tubo de la horquilla mediante un falso tubo frontal (con rodamientos) con una longitud igual a 150 mm. El tubo de la horquilla se debe asegurar como en una bicicleta con el asiento de la pista de la pletina adyacente al conjunto del rodamiento del falso tubo frontal (véase la figura B.1).

- a) El ratio de la flecha, D_f , para la horquilla de ensayo para el ensayo de fatiga de carga horizontal y el ensayo de fatiga de carga vertical no debe exceder el valor de 1,0 cuando se calcula como sigue:

$$D_f = \frac{K_1 \times 10\,000 \times \delta}{L^3} \quad (\text{A.1})$$

donde

D_f es el ratio de flecha;

K_1 es 1 417, una constante;

L es la longitud de la horquilla, expresada en milímetros;

δ es la flecha, expresada en milímetros.

EXAMPLE

Longitud de horquilla $L = 460$ mm

Flecha $\delta = 6,85$ mm, de los cuales

Ratio de flecha D_f

$$= \frac{1\,417 \times 10\,000 \times 6,85}{460^3}$$

$$= 0,99721 \leq 1,0$$

- b) El ratio de la flecha, D_c , para la horquilla de ensayo para el ensayo de choque no debe exceder el valor de 1,0 cuando se calcula como sigue:

$$D_c = \frac{K_2 \times 10\,000 \times \delta}{L^3} \quad (\text{A.2})$$

donde

D_c es el ratio de flecha;

K_2 es 709, una constante;

L es la longitud de la horquilla, expresada en milímetros;

δ es la flecha, expresada en milímetros.

Anexo B (Normativo)

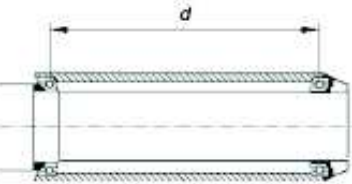
Dispositivo de fijación de la horquilla

La horquilla se debe montar en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección sujeto entre los rodamientos de dirección normales. La distancia entre los rodamientos puede influir en los resultados. Por lo tanto cuando se conoce la distancia real del montaje, se debe usar con una tolerancia de ± 5 mm. Si no se da indicación sobre la distancia, se debe tomar un valor de (150 ± 5) mm. Los puntos de medición se toman desde el medio de los rodamientos. En la figura B.1 se dan ejemplos de mediciones de distancia.

Durante la carga, la horquilla se dobla y puede tocar el falso tubo frontal. El diseño del falso tubo debe ser tal que este contacto no ocurra.



a) Medición con rodamiento de casquillo exterior



b) Medición con rodamientos integrados

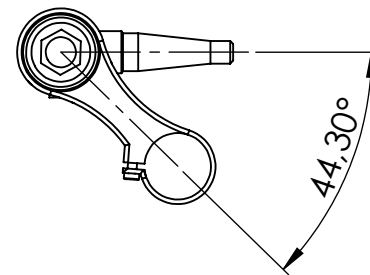
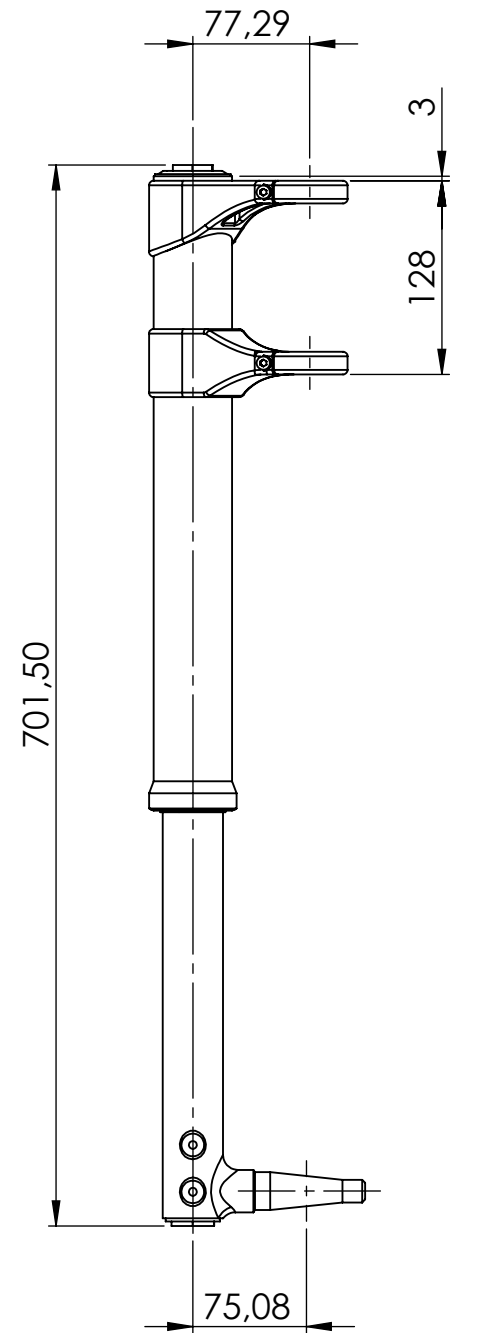
Leyenda

d Distancia entre rodamientos

Figura B.1 – Ejemplo de mediciones de distancia

15 Anexo A: Planos

A continuación se adjuntan los planos de conjunto de la horquilla y los planos individuales de cada pieza que la componen. La siguiente tabla muestra la totalidad de los planos con su designación y descripción.



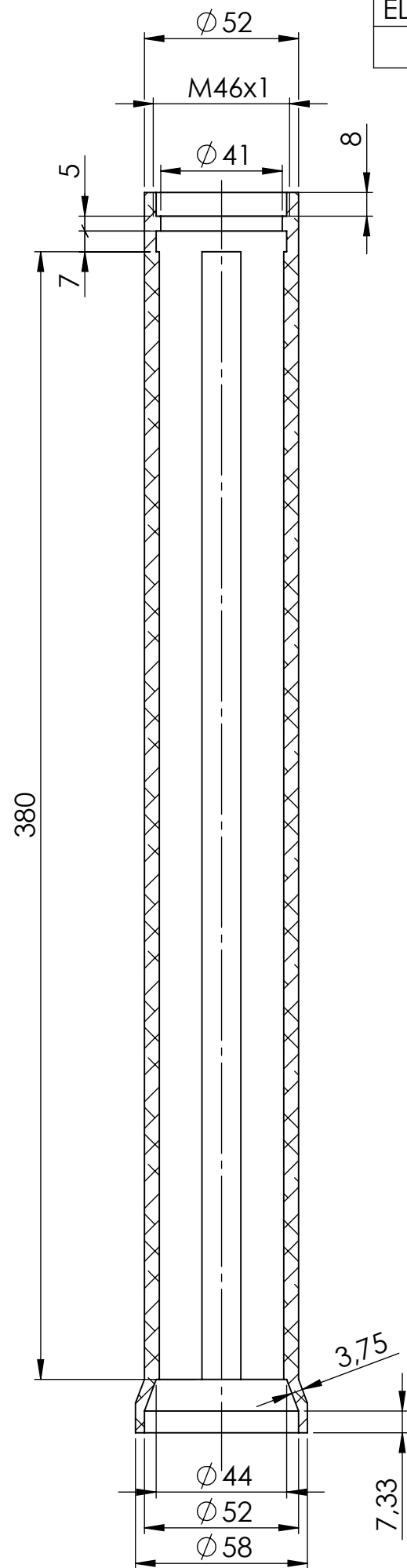
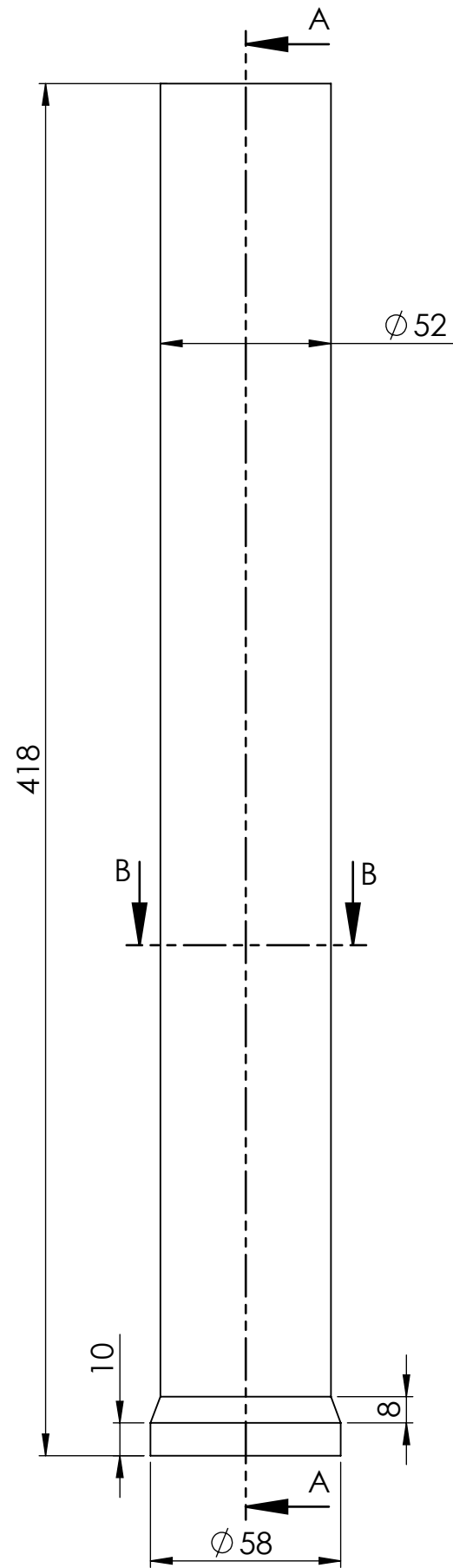
0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		 Universidad Carlos III de Madrid	
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/> AS-BUILT			
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FIRMA SIGN.	01/06/2015	01/06/2015		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Horquilla monobrazo				ESCALA SCALE 1:5	HOJA SHEET 1 DE OF 2
Nº DEL PLANO / DRAWING N° TFG_00_000				FORMATO FORMAT A3	REV. 0
Fichero / File:					



NOTAS:

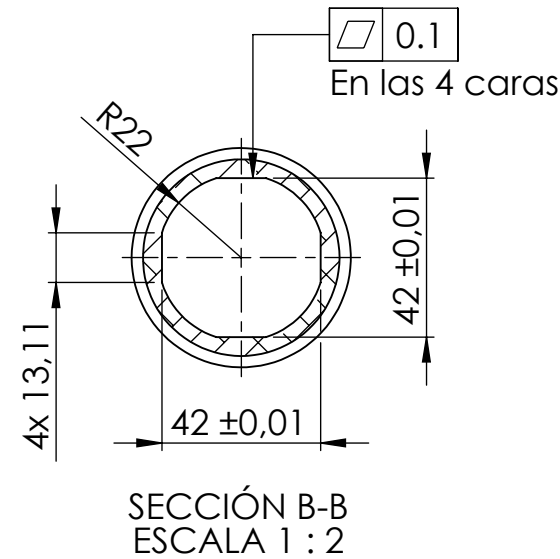
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

CCIÓN C-C
SCALA 1:3



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

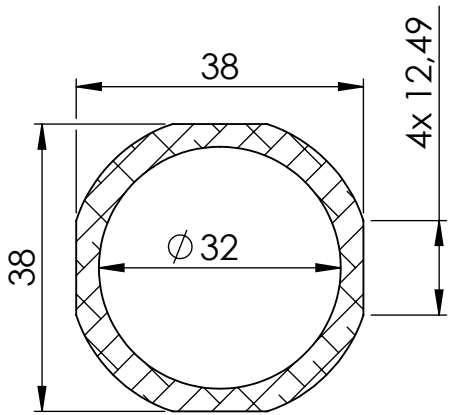
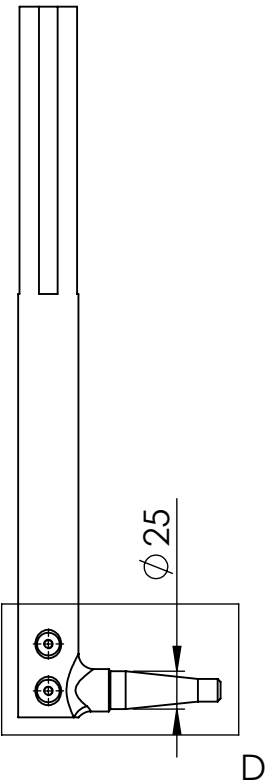
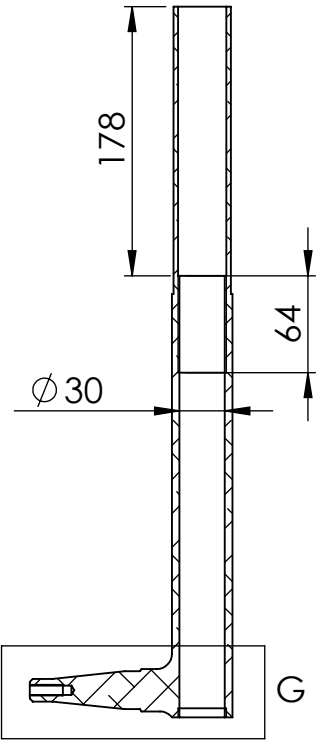
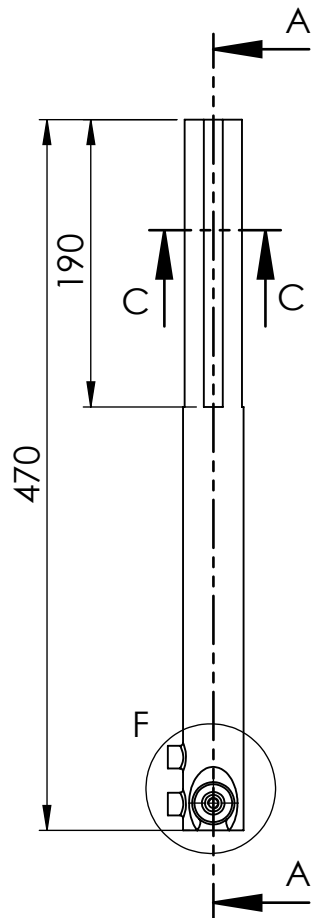
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	TFG_01_000	Botella	7075-T6 (SN)	1



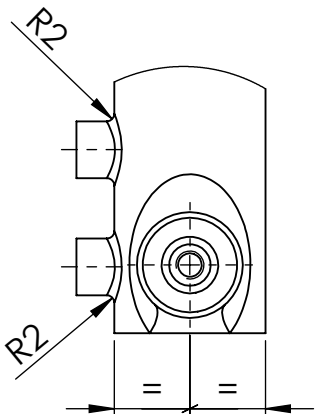
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FIRMA SIGN.	01/06/2015	01/06/2015		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Botella			1:2	DE OF	1
Nº DEL PLANO / DRAWING N°			FORMATO FORMAT	REV.	0
TFG_01_000			A3		
Fichero / File:					

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_02_000	Tubo inferior	7075-T6 (SN)	0.77



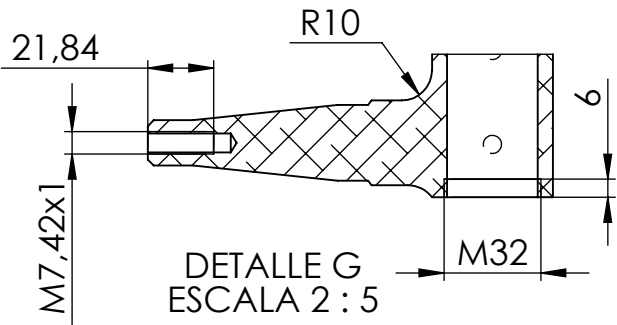
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 1



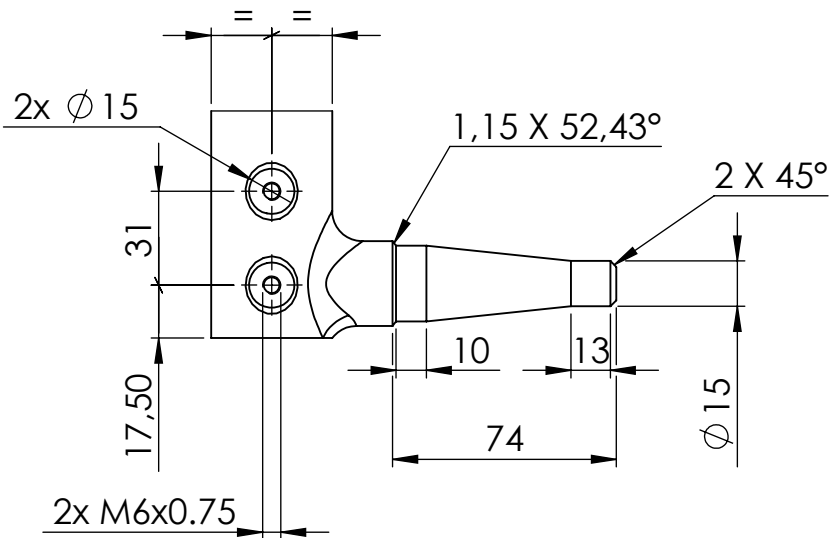
DETALLE F
ESCALA 1 : 2

SECCIÓN A-A


NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.



DETALLE G
ESCALA 2 : 5



DETALLE D
ESCALA 2 : 5

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FIRMA SIGN.	01/06/2015	01/06/2015		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE				ESCALA SCALE	HOJA SHEET
Tubo inferior				1:5	1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº				FORMATO FORMAT	REV.
TFG_02_000				A3	0
Fichero / File:					

471,10

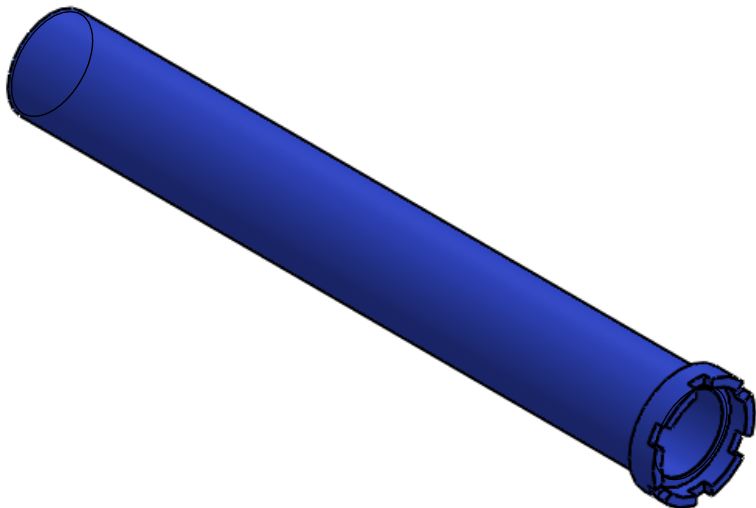
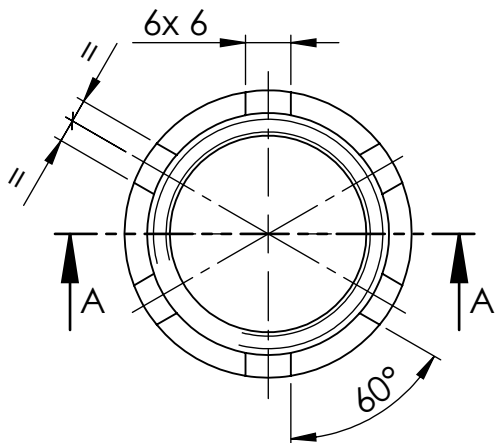
SECCIÓN A-A

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)	CANTIDAD
1	TFG_03_001	Tubo cartucho	7075-T6 (SN)	0.19	1
2	TFG_03_100	Válvula de rebote	Material <sin especificar>	0.01	1
3	TFG_03_007	Tubo de reserva	7075-T6 (SN)	0.08	1
4	TFG_03_006	Válvula de compresión	7075-T6 (SN)	0.01	1
5	TFG_03_004	Cabeza pistón aire	Nailon 101	0.00	1
6	TFG_03_003	Vástago parte inferior	7075-T6 (SN)	0.01	1
7	TFG_03_002	Vástago parte superior	7075-T6 (SN)	0.01	1
8	TFG_03_005	Tornillo cabeza pistón	7075-T6 (SN)	0.00	1
9	TFG_03_008	Tapa superior botella	7075-T6 (SN)	0.05	1
10	TFG_03_009	Tapón superior cartucho	7075-T6 (SN)	0.02	1
11	TFG_03_010	Tope	NEOPRENO	0.01	1

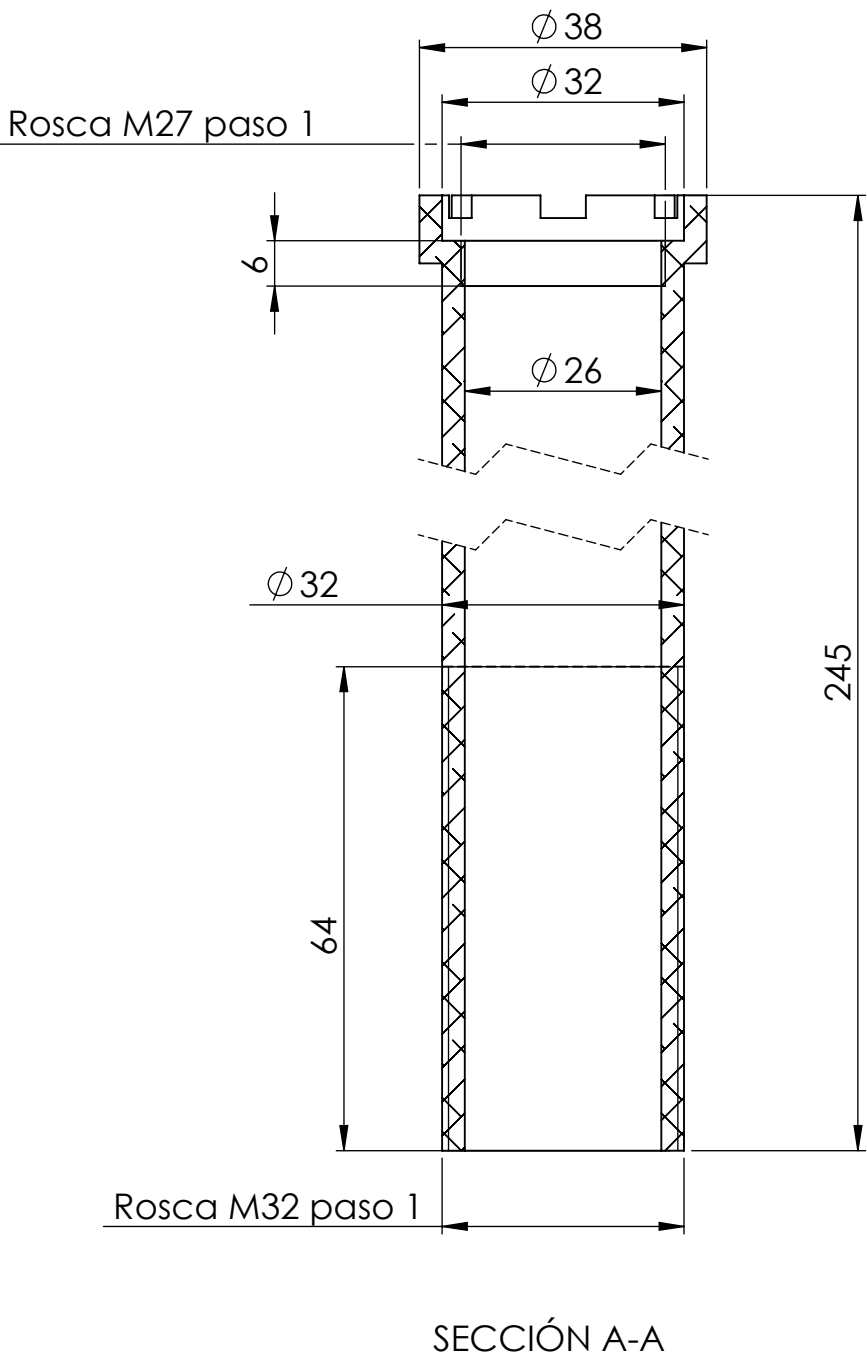
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	COMPROBADO CHECKED Jose Antonio Calvo Ramos	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
	TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Cartucho Hidráulico				
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_03_000				ESCALA SCALE 1:2	HOJA SHEET 1 DE OF 1
Fichero / File:				FORMATO FORMAT A3	REV. 0

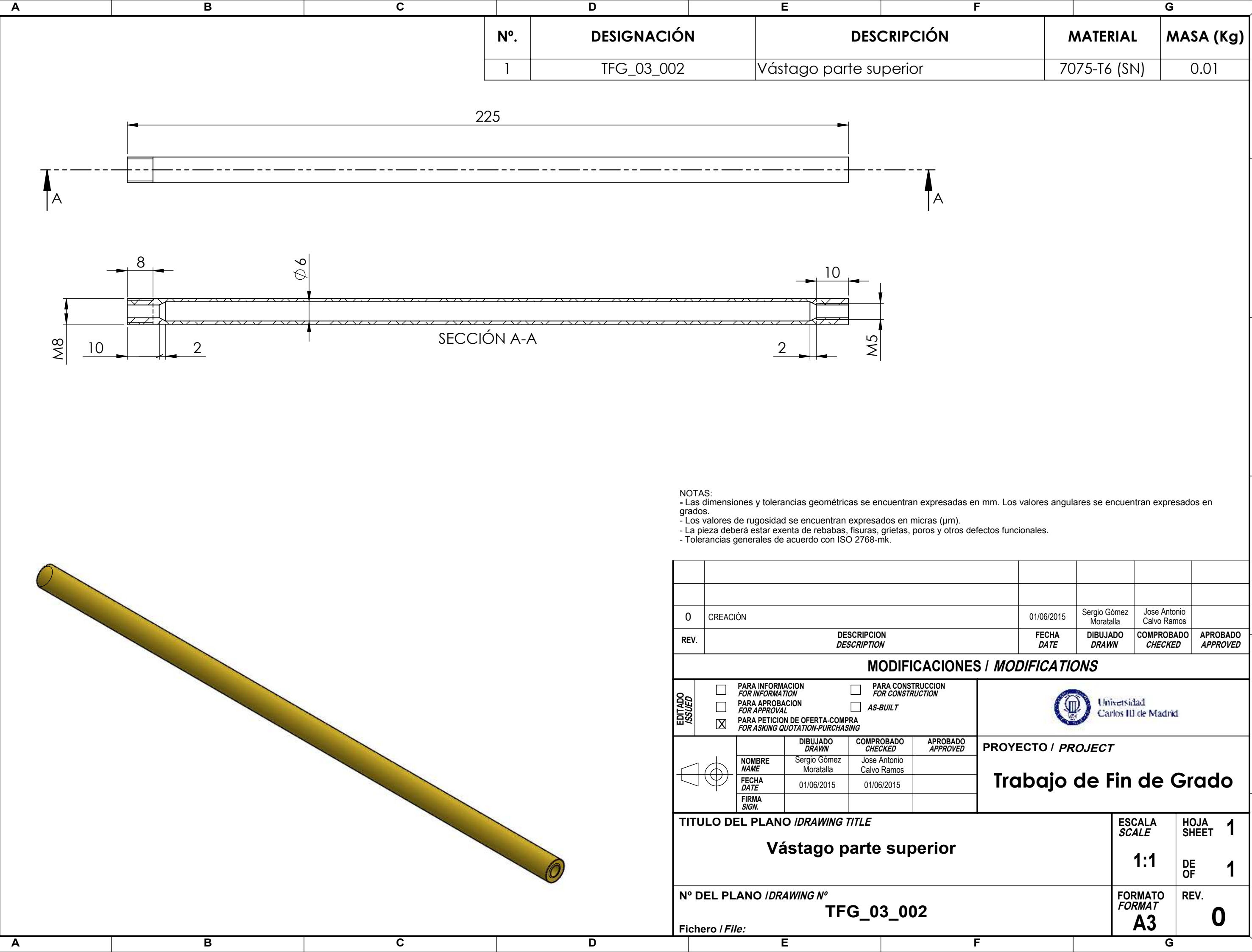
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_001	Tubo cartucho	7075-T6 (SN)	0.19



NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

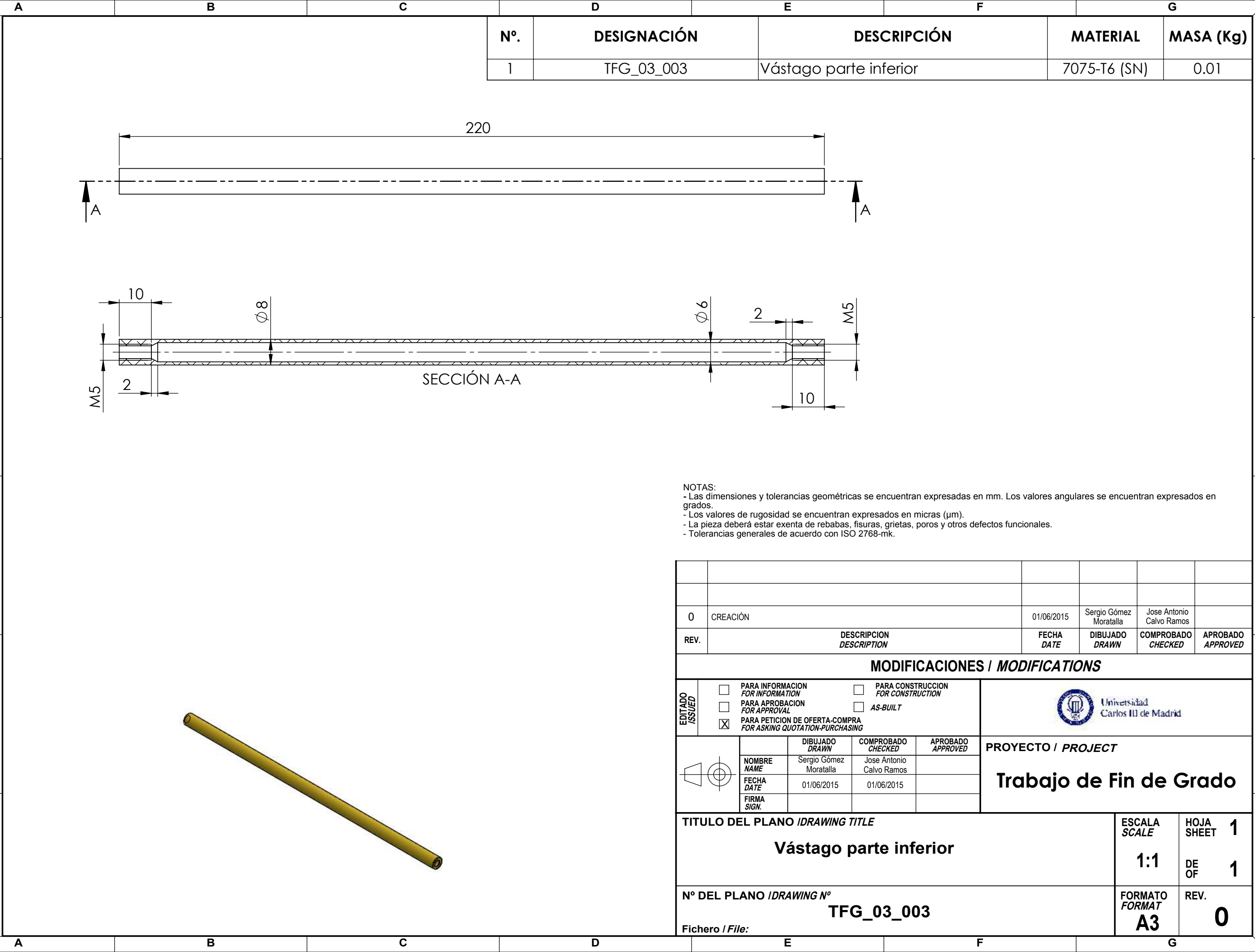


0		CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION		FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS						
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/>	PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/>	PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		
	<input type="checkbox"/>	PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/>	AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/>	PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015			
	FIRMA SIGN.					
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Tubo cartucho				ESCALA SCALE 1:1	HOJA SHEET 1	
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_03_001				FORMATO FORMAT A3	REV. 0	
Fichero / File:						



NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

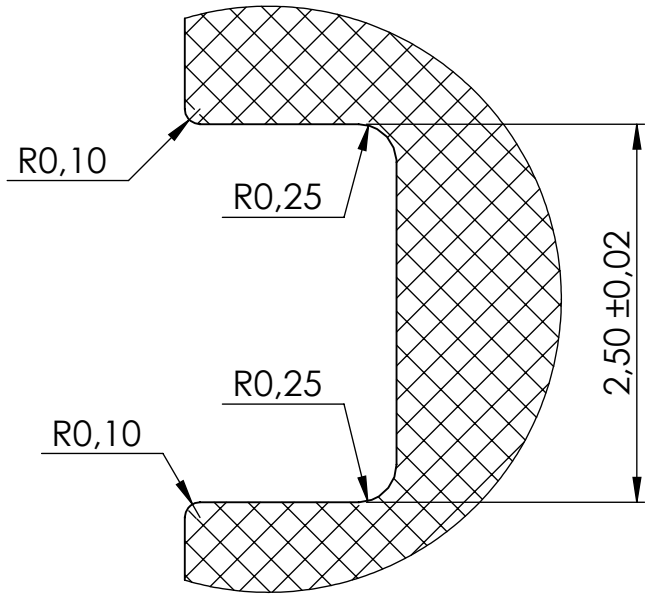
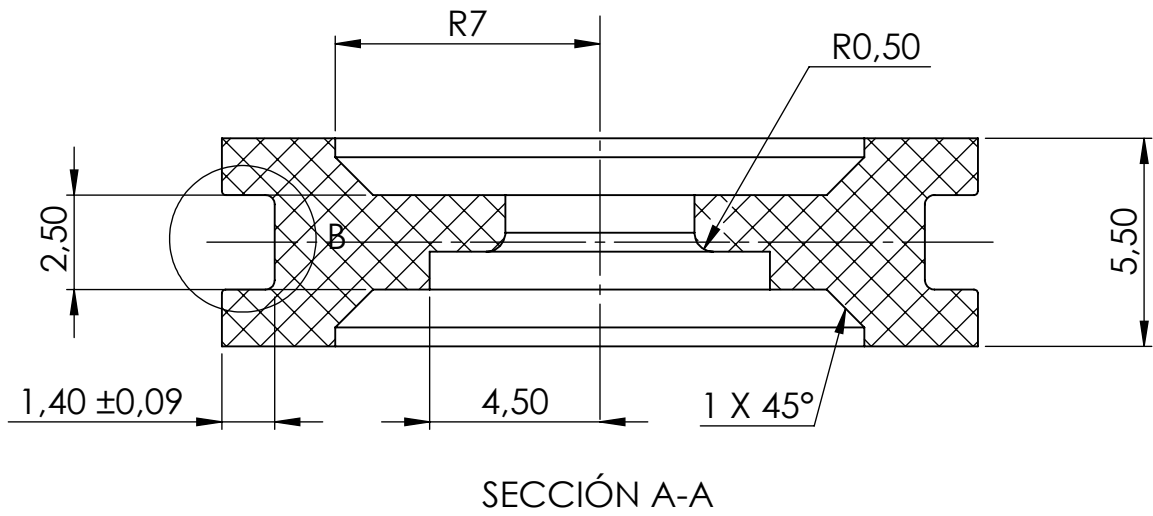
0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO /ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION		<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		 Universidad Carlos III de Madrid
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL		<input type="checkbox"/> AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE					ESCALA SCALE
Vástago parte superior					1:1
Nº DEL PLANO /DRAWING N°					HOJA SHEET
TFG_03_002					1
Fichero / File:					DE OF
					1
					REV.
					0



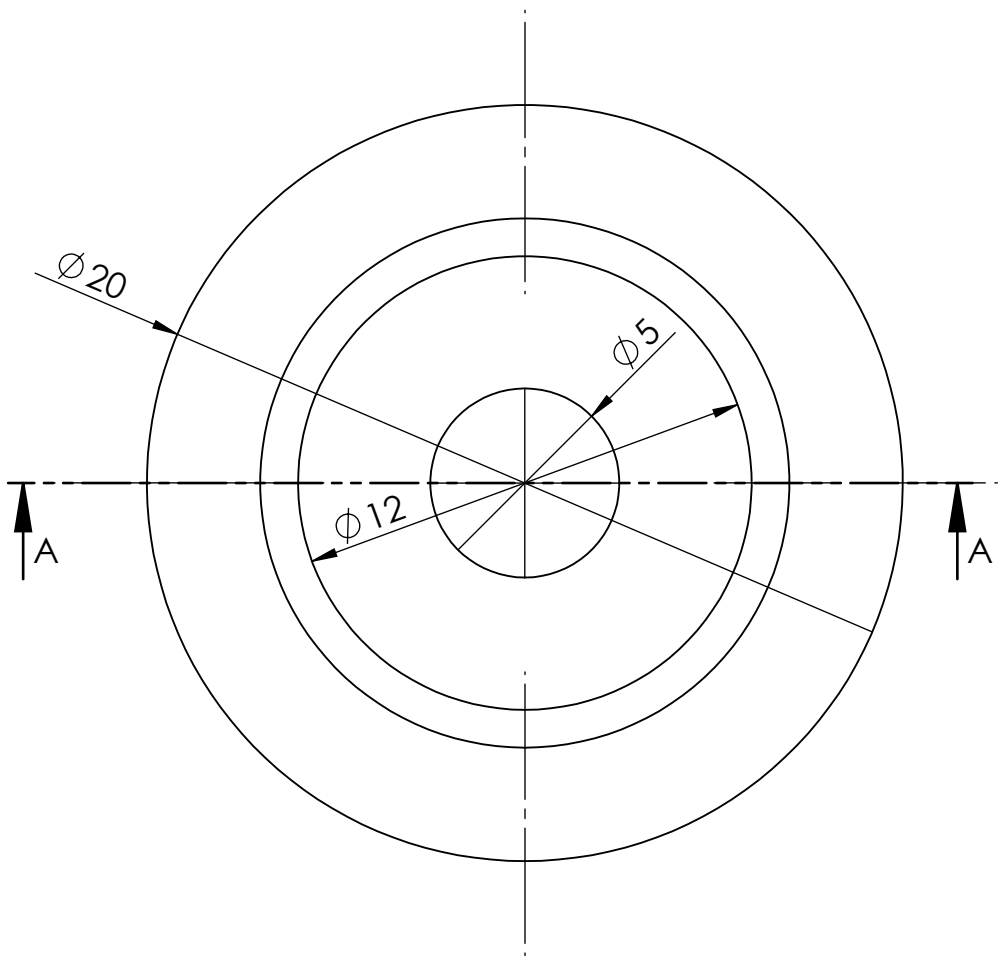
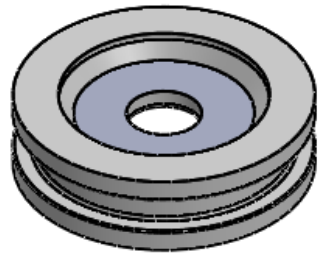
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/>	PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/>	PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION	 Universidad Carlos III de Madrid
	<input type="checkbox"/>	PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/>	AS-BUILT	
	<input checked="" type="checkbox"/>	PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING			
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Vástago parte inferior				ESCALA SCALE 1:1	HOJA SHEET 1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_03_003				FORMATO FORMAT A3	REV. 0
Fichero / File:					

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_004	Cabeza pistón aire	Nailon 101	0.00



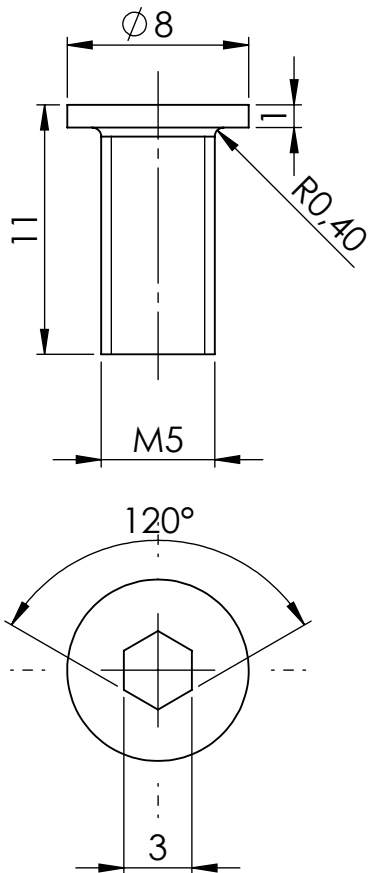
DETALLE B
ESCALA 20 : 1



NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos			
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED		
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS							
EDITADO /ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION		<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION				
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL		<input type="checkbox"/> AS-BUILT				
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING						
	 Universidad Carlos III de Madrid						
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado		
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos				
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015				
	FIRMA SIGN.						
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE					ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Cabeza pistón aire					5:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO /DRAWING Nº					FORMATO FORMAT	REV.	
TFG_03_004					A3		0
Fichero / File:							

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_005	Tornillo cabeza pistón	7075-T6 (SN)	0.00


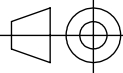


NOTAS:

- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED

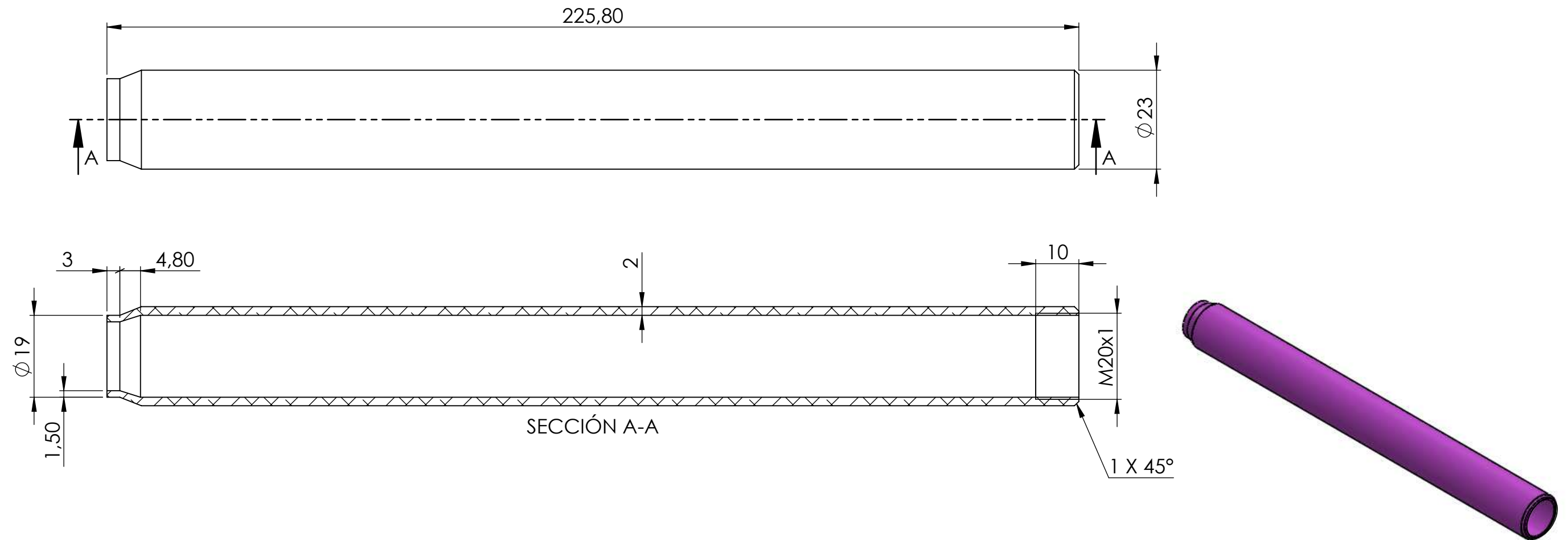
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS

EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION	<div><div>Universidad Carlos III de Madrid</div></div>		
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/> AS-BUILT			
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FECHA DATE	01/06/2016	01/06/2016		
	FIRMA SIGN.				

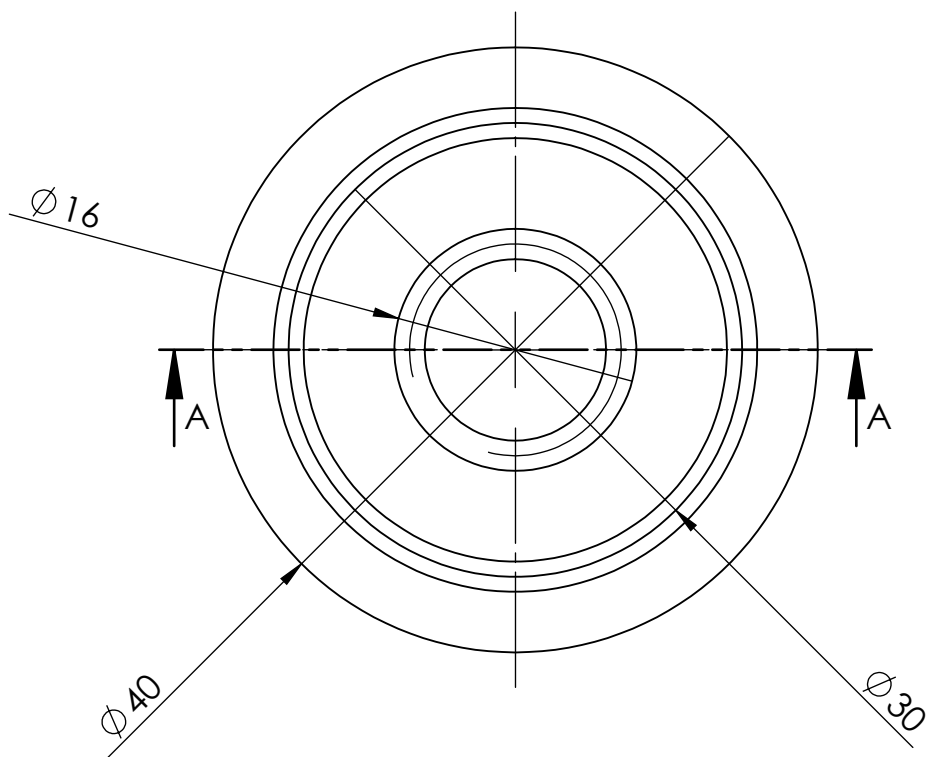
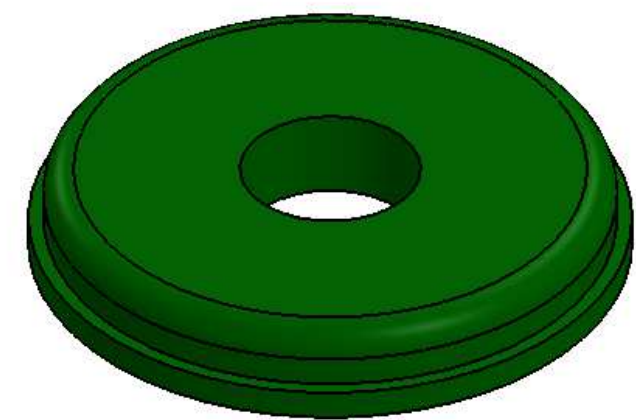
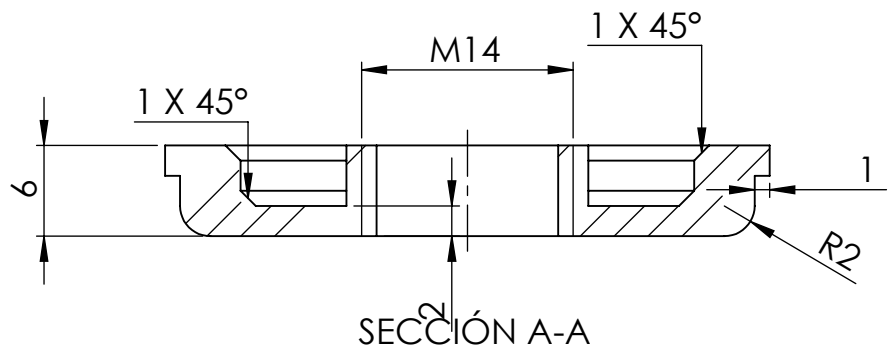
<div> <div>TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE</div> <div>Tornillo cabeza pistón</div> </div>			<div> <div>ESCALA SCALE</div> <div>3:1</div> </div>	<div> <div>HOJA SHEET</div> <div>1</div> </div>
<div> <div>Nº DEL PLANO /DRAWING Nº</div> <div>TFG_03_005</div> </div>			<div> <div>FORMATO FORMAT</div> <div>A4</div> </div>	<div> <div>REV.</div> <div>0</div> </div>
<div>Fichero / File:</div>				

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_006	Válvula de compresión	7075-T6 (SN)	0.01


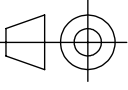
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_007	Tubo de reserva	7075-T6 (SN)	0.08



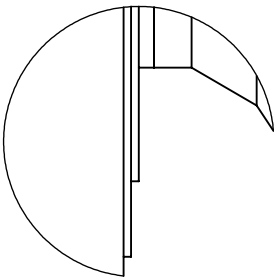
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_03_010	Tope	NEOPRENO	0.01



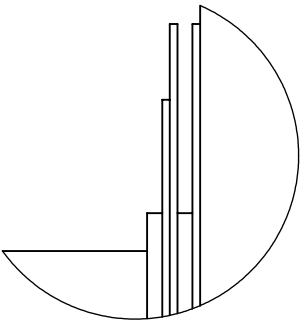
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FIRMA SIGN.	01/06/2015	01/06/2015		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Tope				ESCALA SCALE 2:1	HOJA SHEET 1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_03_010				FORMATO FORMAT A3	REV. 0
Fichero / File:					

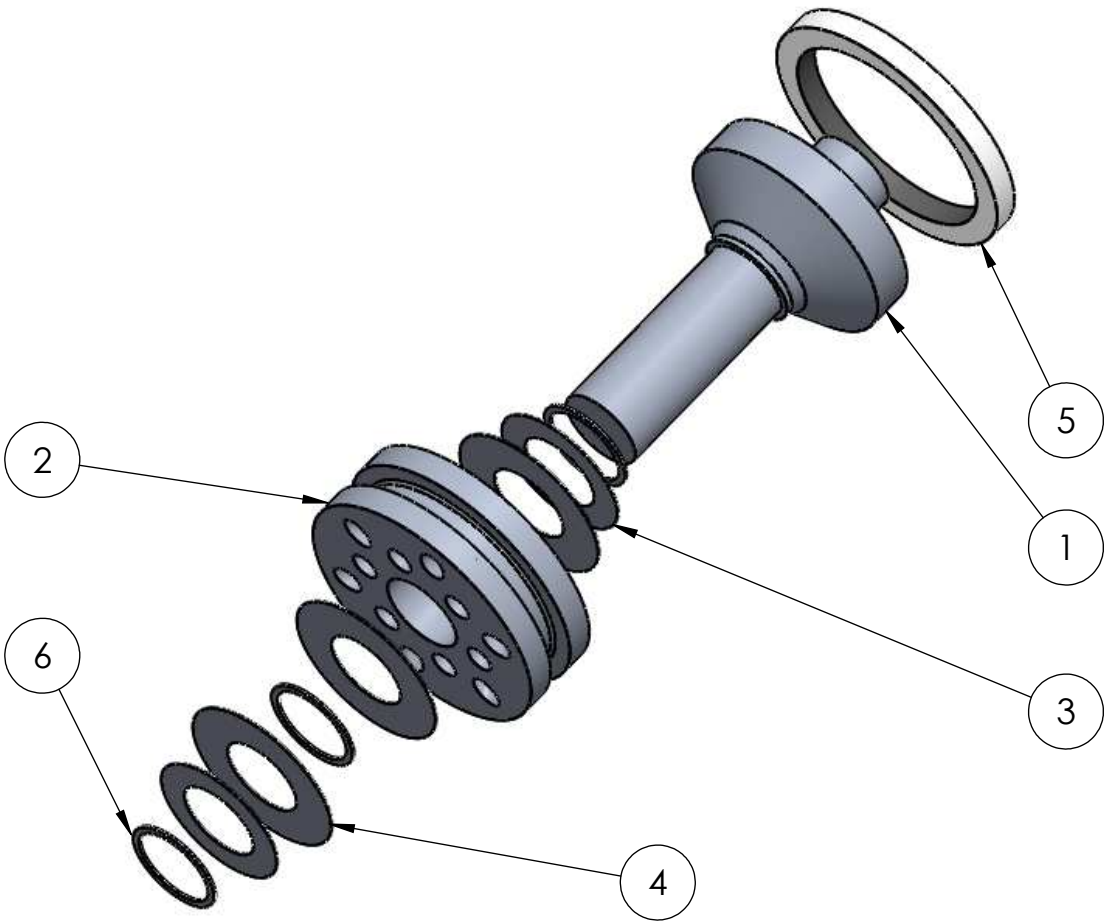
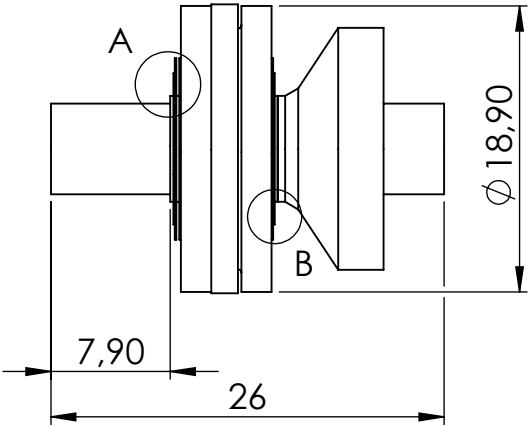
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)	CANTIDAD
1	TFG_03_102	Eje roscado válvula rebote	7075-T6 (SN)	0.00	1
2	TFG_03_101	Válvula	7075-T6 (SN)		1
3	TFG_03_105	Shim stack 10mm	1060-O (SS)	0.00	2
4	FFDSW	Shim-stack 12x0.1	1060-O (SS)	0.02	3
5	Square-ring 7.77x1.78-A-ISO 3601-1	O-Ring cuadrado	NBR	0.00	1
6	TFG_03_104	Shim stack separador	1060-O (SS)	0.00	3




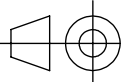
DETALLE B
ESCALA 10 : 1



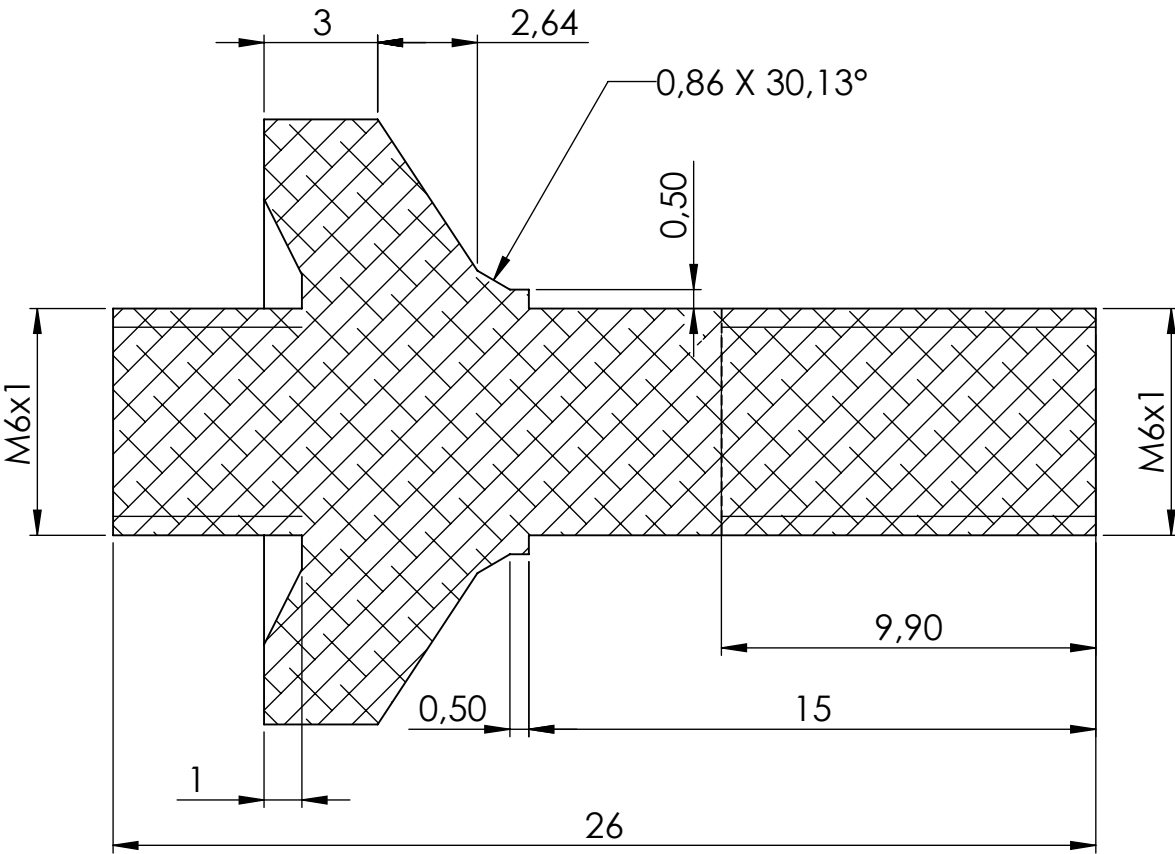
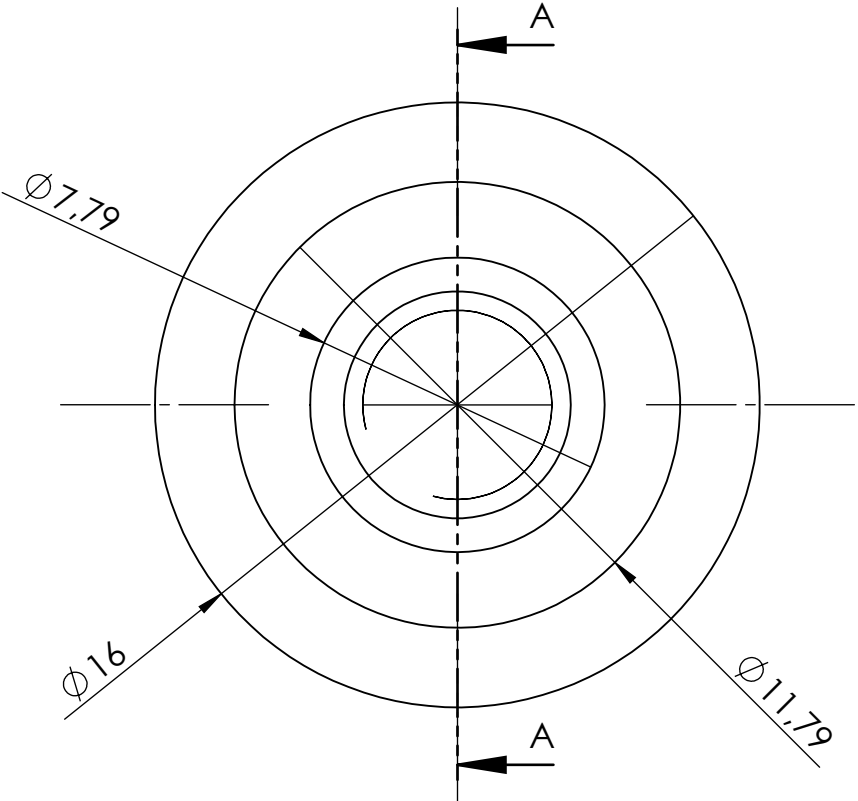
DETALLE A
ESCALA 10 : 1



NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION		<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		 Universidad Carlos III de Madrid
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL		<input type="checkbox"/> AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Válvula de rebote			2:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO /DRAWING Nº			FORMATO FORMAT	REV.	
TFG_03_100			A3		0
Fichero / File:					

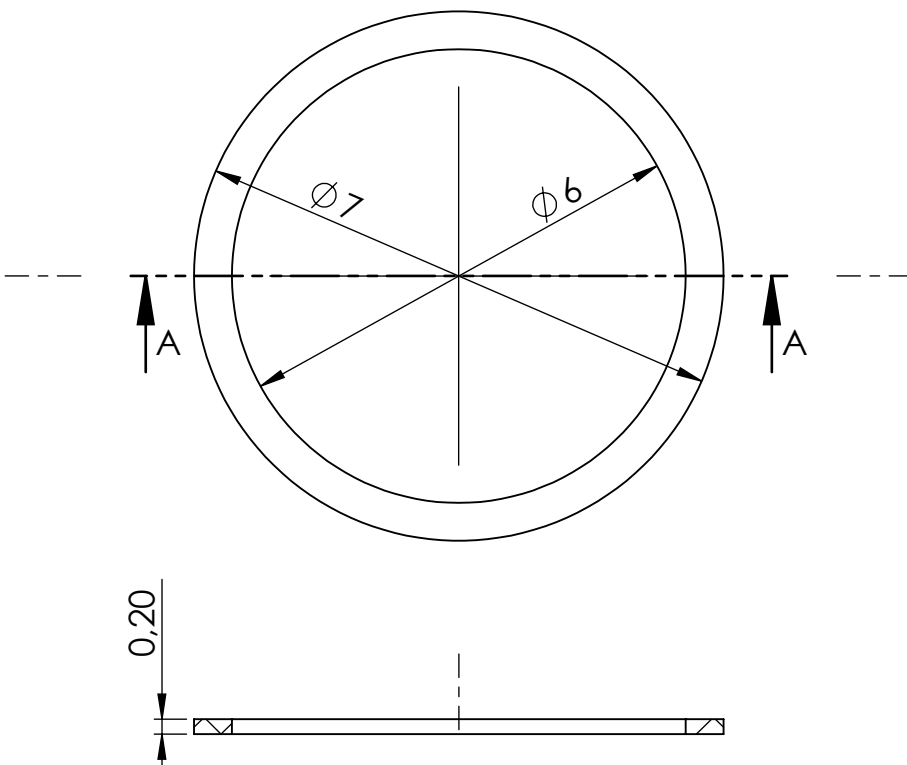

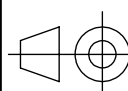
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	TFG_03_102		7075-T6 (SN)	1

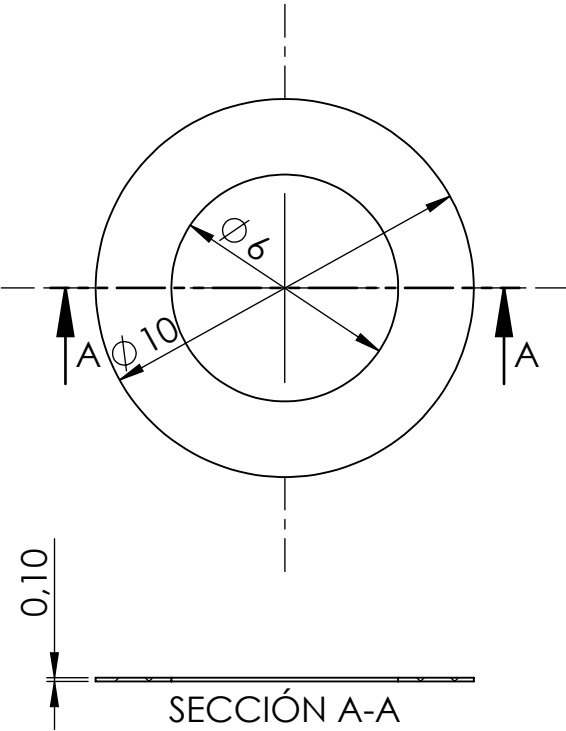

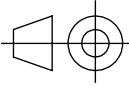


SECCIÓN A-A

NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0		CREACIÓN		01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION			FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS							
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/>	PARA INFORMACION FOR INFORMATION		<input type="checkbox"/>	PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		
	<input type="checkbox"/>	PARA APROBACION FOR APPROVAL		<input type="checkbox"/>	AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/>	PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING					
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	COMPROBADO CHECKED	Jose Antonio Calvo Ramos	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado	
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015				
	FIRMA SIGN.						
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Eje roscado válvula rebote					ESCALA SCALE 5:1	HOJA SHEET 1	
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_03_102					FORMATO FORMAT A3	REV. 0	
Fichero / File:							

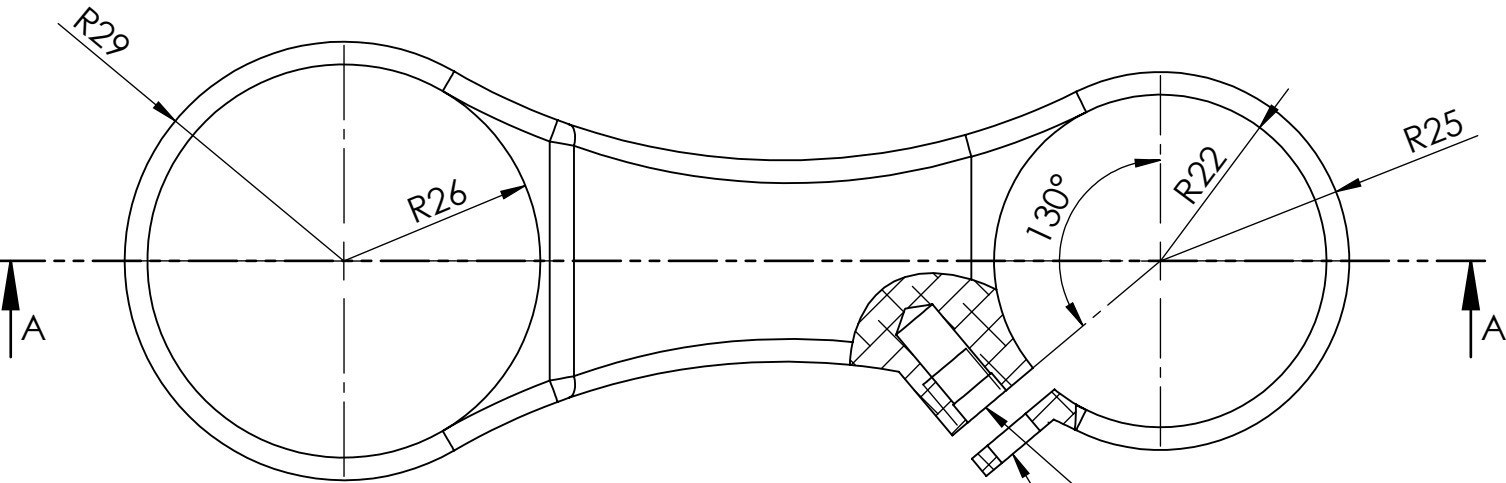
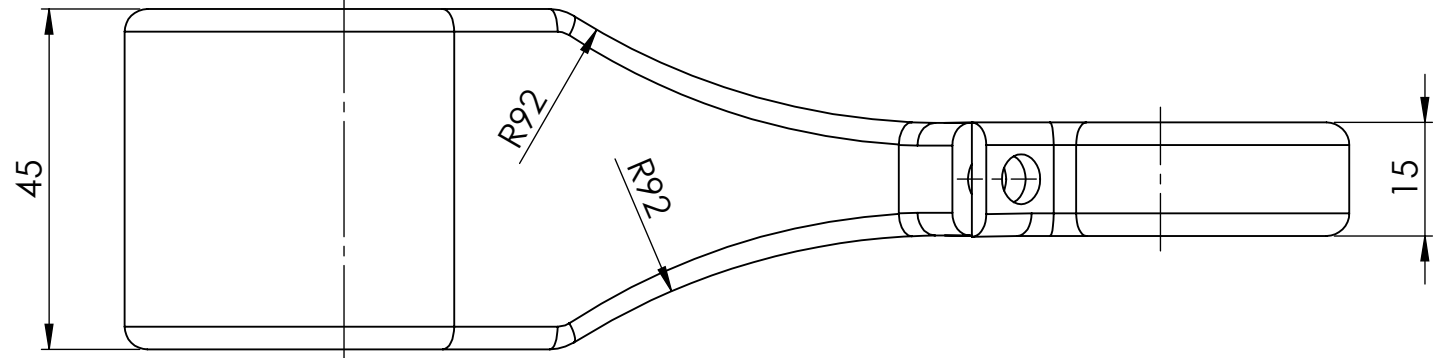
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)	
1	TFG_03_104	Shim stack separador	1060-O (SS)	0.00	
<div><p>SECCIÓN A-A</p></div>					
<p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none">- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.					
0	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		Trabajo de Fin de Grado
	FIRMA SIGN.	01/06/2016	01/06/2016		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Shim stack separador			10:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº			FORMATO FORMAT	REV.	0
TFG_03_104			A4		
Fichero / File:					

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)	
1	TFG_03_105	Shim stack 10mm	1060-O (SS)	0.00	
<div></div>					
<p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none">- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.					
0	CREACIÓN				
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT			
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT
	FECHA DATE				
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Shim stack 10mm			5:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO /DRAWING Nº			FORMATO FORMAT	REV.	
TFG_03_105			A4	0	
Fichero / File:					

Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)	
1	FFDSW	Shim-stack 12x0.1	1060-O (SS)	0.02	
<div><div>0,10</div><div>SECCIÓN A-A</div></div>					
<p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none">- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.					
0	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT			
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		Trabajo de Fin de Grado
	FIRMA SIGN.	01/06/2016	01/06/2016		
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Shim-stack 12x0.1			5:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO /DRAWING Nº			FORMATO FORMAT	REV.	0
TFG_03_106			A4		
Fichero / File:					

A		B		C		D																	
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN		MATERIAL	MASA (Kg)																		
1	TFG_04_002	Aguja 10x2mm		1.5714 (16NiCr4)	0.00																		
<p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados. - Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm). - La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales. - Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk. 																							
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>CREACIÓN</td> <td>01/06/2016</td> <td>Sergio Gómez Moratalla</td> <td>Jose Antonio Calvo Ramos</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td>DESCRIPCION DESCRIPTION</td> <td>FECHA DATE</td> <td>DIBUJADO DRAWN</td> <td>COMPROBADO CHECKED</td> <td colspan="3">APROBADO APPROVED</td> </tr> </table>								0	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos				REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED		
0	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos																			
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED																		
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS																							
EDITADO / ISSUED <input type="checkbox"/> PARA INFORMACION / FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION / FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA / FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING			<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION / FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT																				
		DIBUJADO DRAWN Sergio Gómez Moratalla	COMPROBADO CHECKED Jose Antonio Calvo Ramos	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado																		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Aguja 10x2mm					ESCALA SCALE 5:1	HOJA SHEET 1																	
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_04_002					FORMATO FORMAT A4	REV. 0																	
Fichero / File:																							

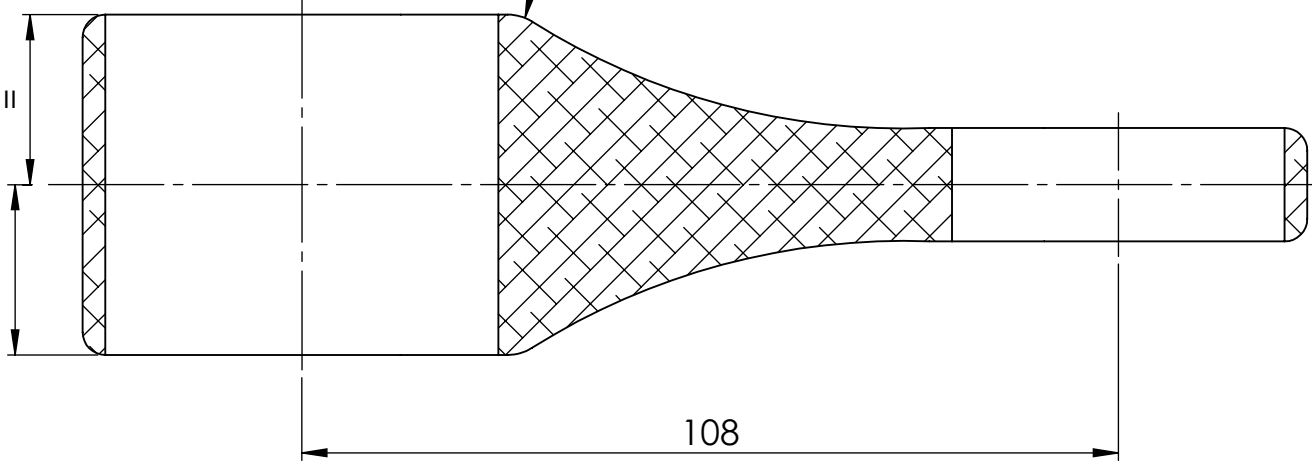
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	TFG_05_000	Pletina inferior	7075-T6 (SN)	1



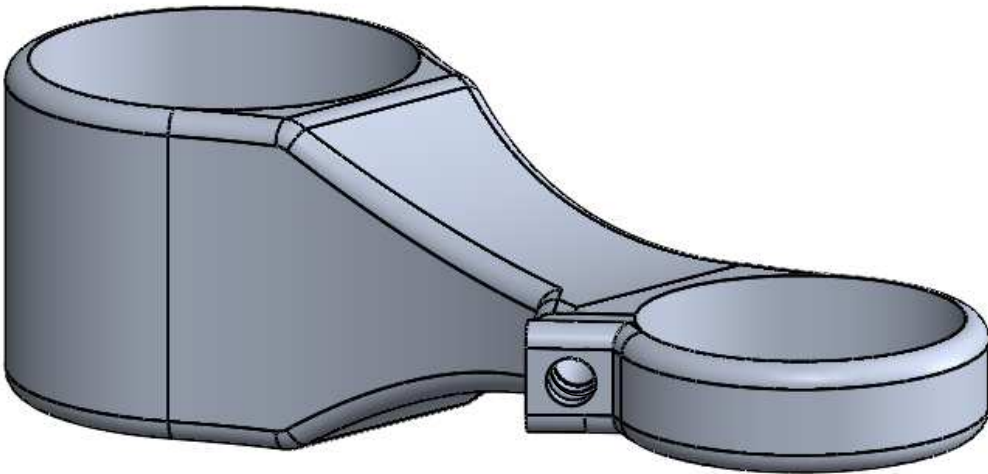
Redondeo de 3mm en todos los vértices exteriores

Taladro para inserto de Helicoil M6x12

Taladro de margen de tornillo M6



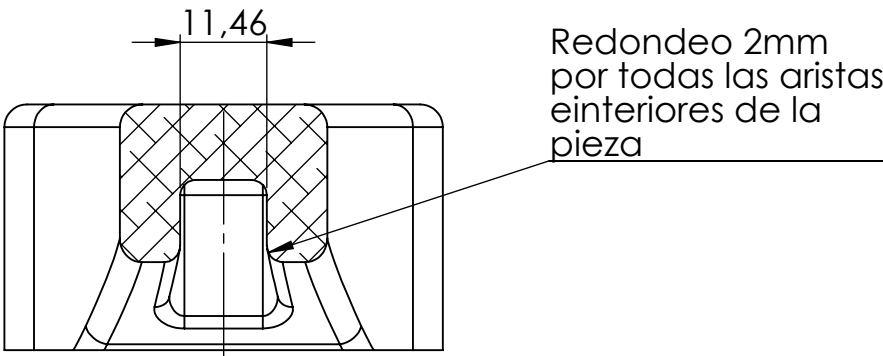
SECCIÓN A-A



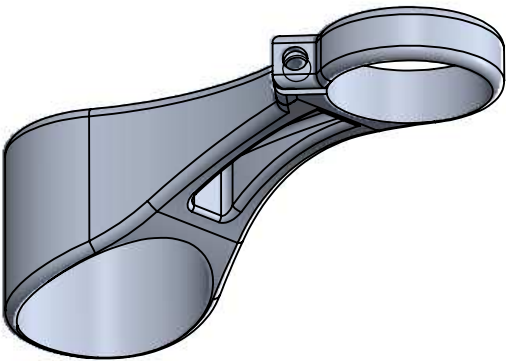
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT	 Universidad Carlos III de Madrid		
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	COMPROBADO CHECKED Jose Antonio Calvo Ramos	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE			ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Pletina inferior			1:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO / DRAWING N°			FORMATO FORMAT	REV.	
TFG_05_000			A3	0	
Fichero / File:					

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	TFG_06_000	Pletina superior	7075-T6 (SN)	1

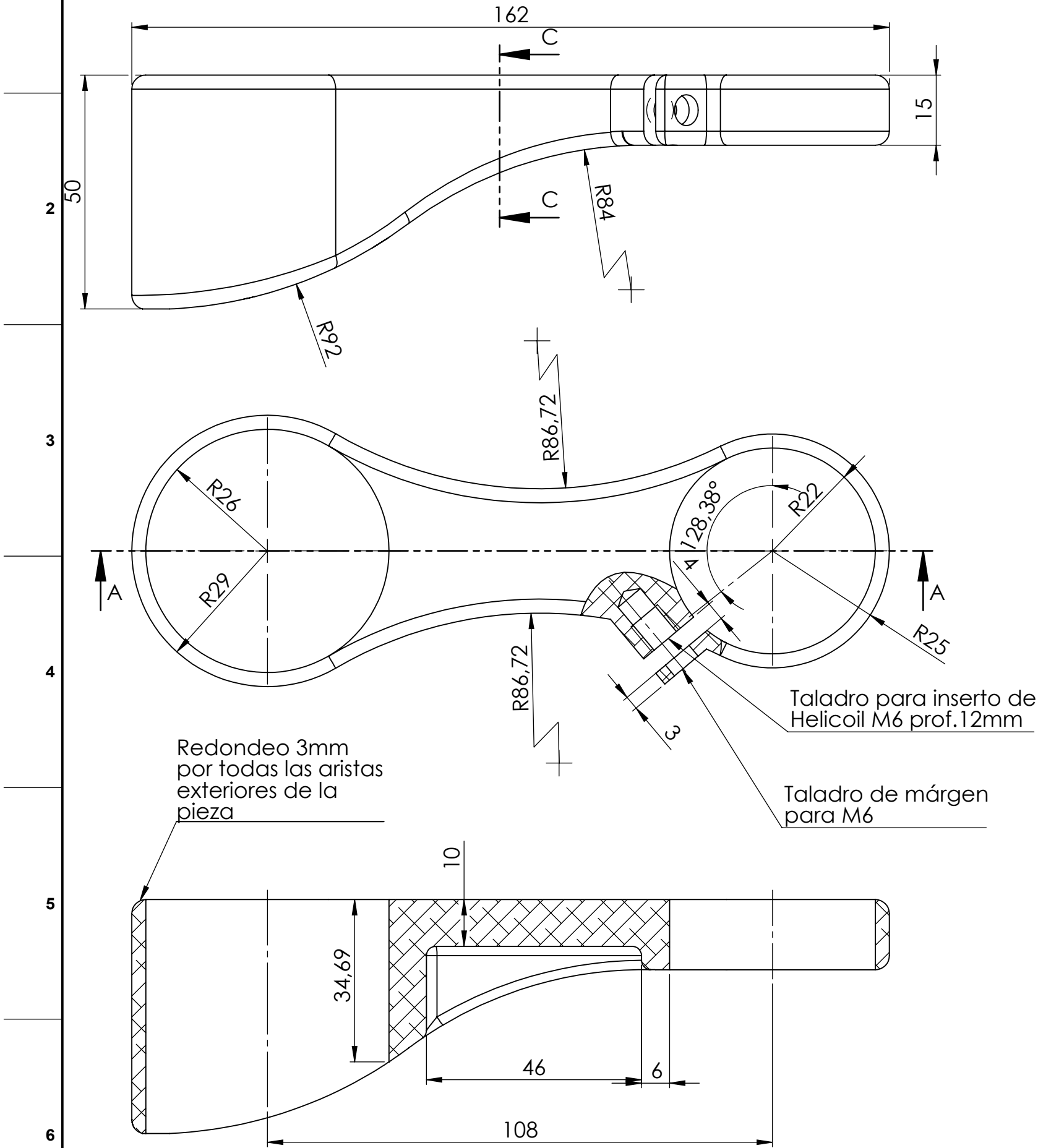


SECCIÓN C-C

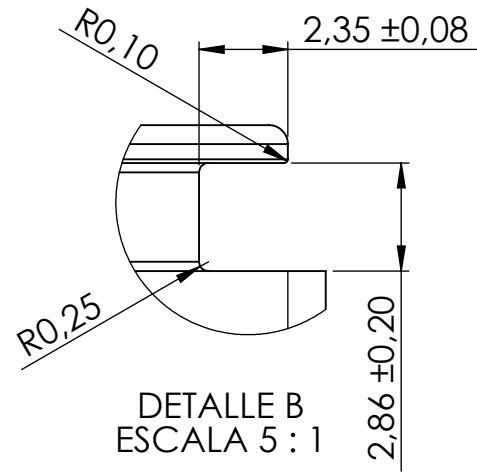
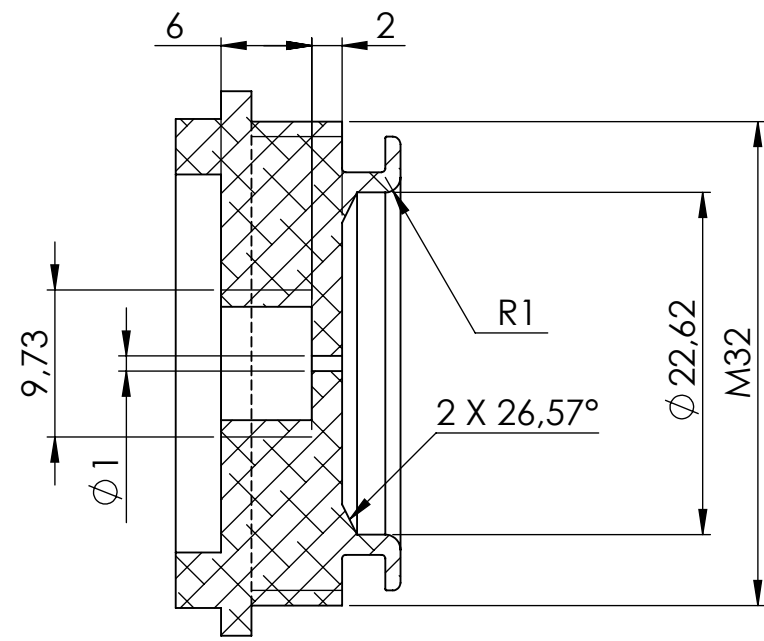
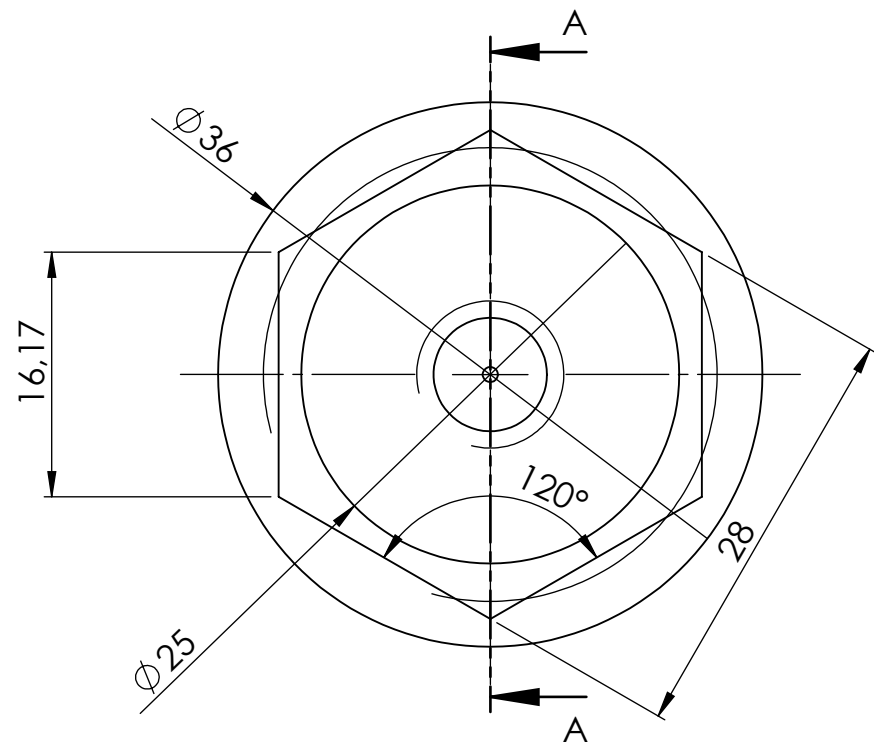


NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

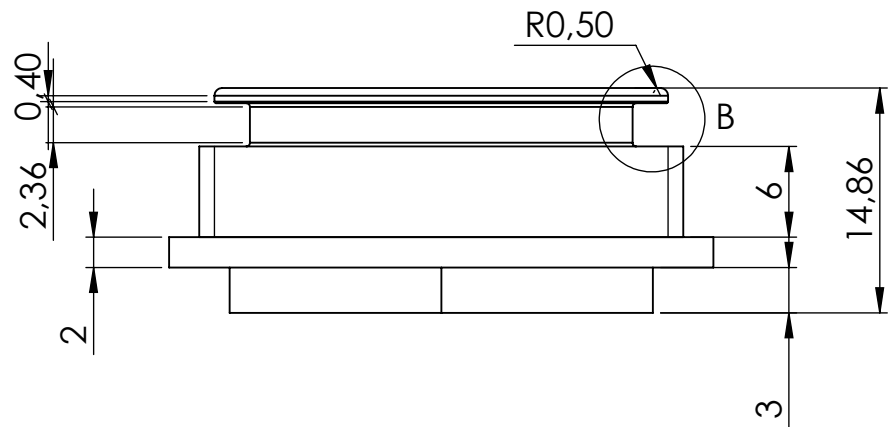
0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION		<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL		<input type="checkbox"/> AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
		DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015		
	FIRMA SIGN.				
TITULO DEL PLANO /DRAWING TITLE					ESCALA SCALE
Pletina superior					1:1
Nº DEL PLANO /DRAWING Nº					HOJA SHEET
TFG_06_000					1
Fichero / File:					DE OF
					1
					REV.
					0
					FORMATO FORMAT
					A3



SECCIÓN A-A

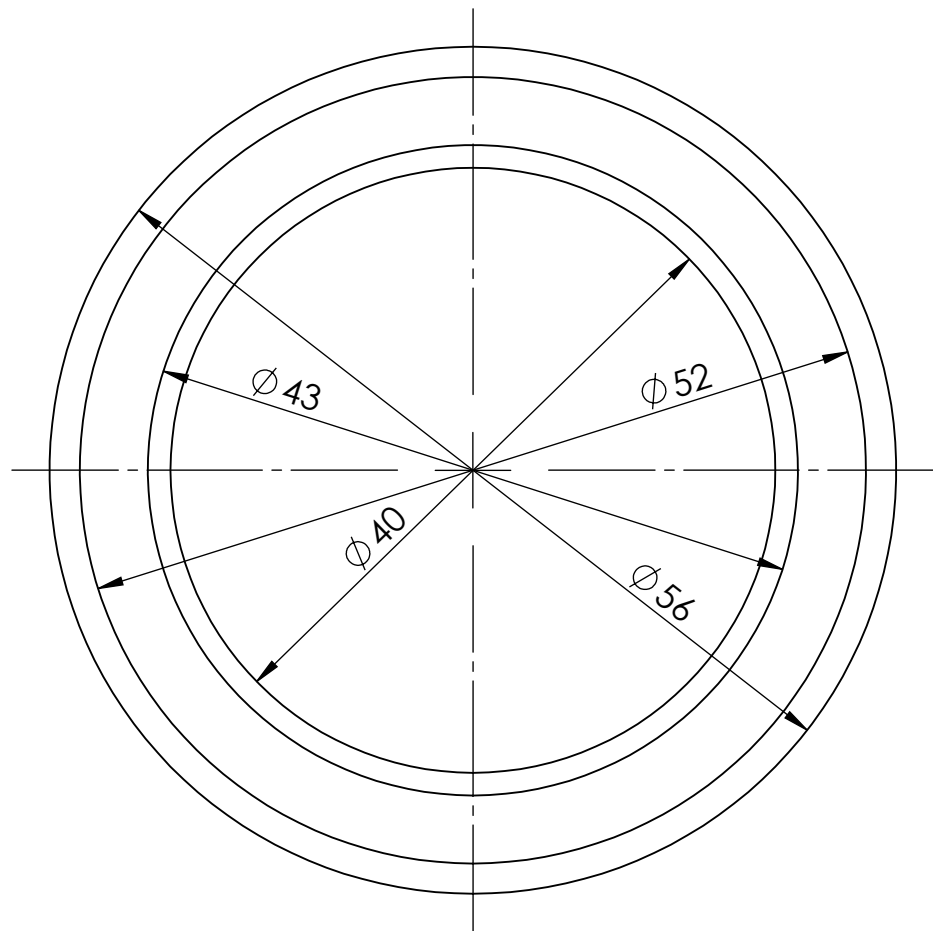
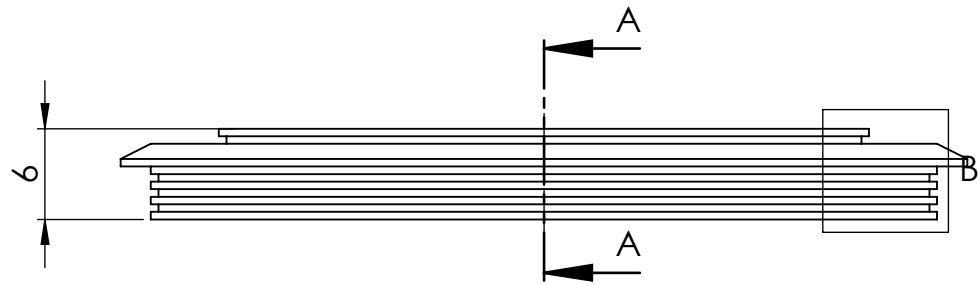


SECCIÓN A-A



NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

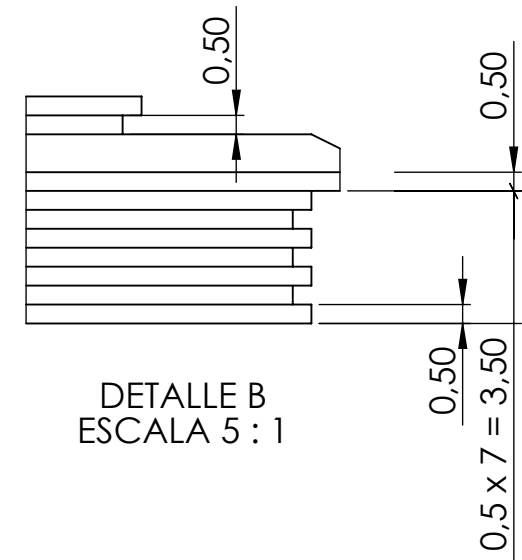
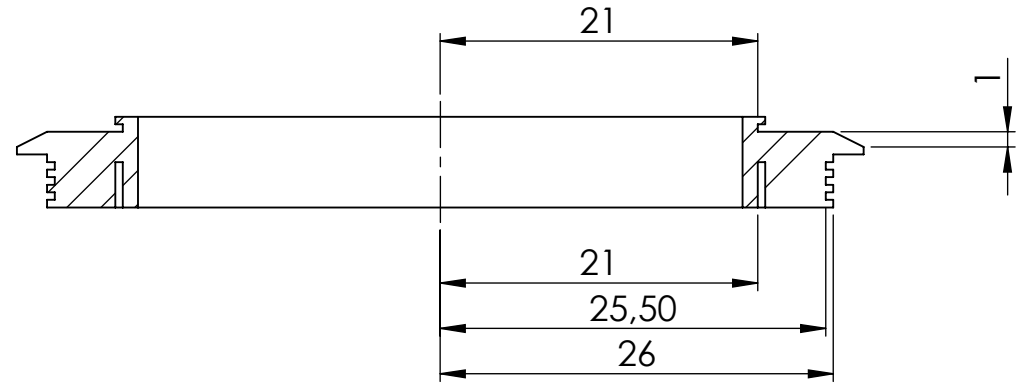
0		CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION		FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS						
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/>	PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/>	PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		
	<input type="checkbox"/>	PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/>	AS-BUILT		
	<input checked="" type="checkbox"/>	PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
	NOMBRE NAME	Sergio Gómez Moratalla	COMPROBADO CHECKED Jose Antonio Calvo Ramos	APROBADO APPROVED		
	FECHA DATE	01/06/2015	01/06/2015			
	FIRMA SIGN.					
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE				ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1
Tapón inferior				2:1	DE OF	1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº				FORMATO FORMAT	REV.	
TFG_07_000				A3		0
Fichero / File:						


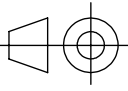


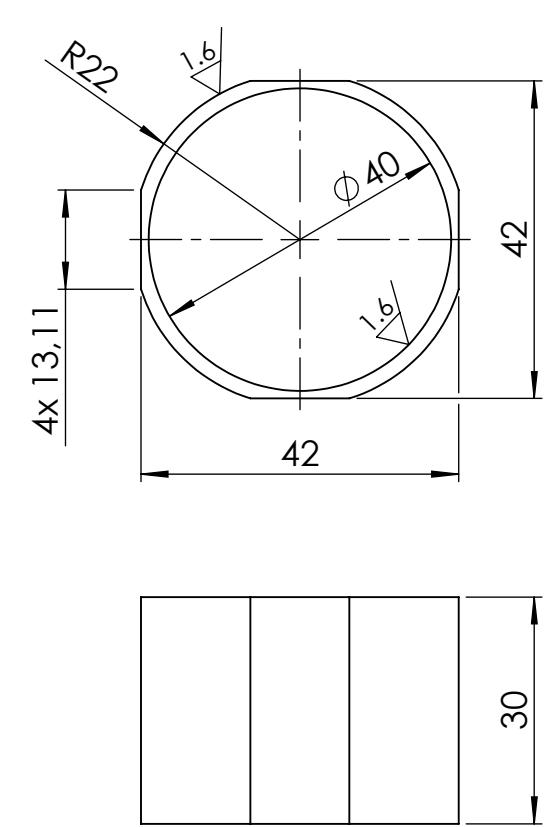

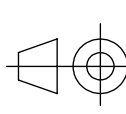
NOTAS:
- Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados.
- Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm).
- La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales.
- Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.

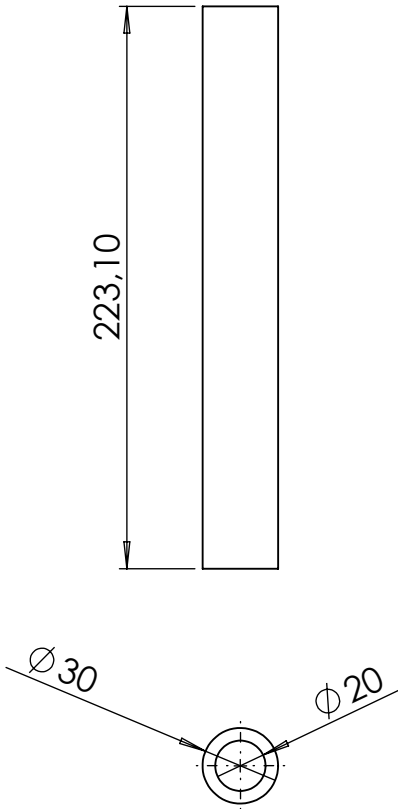

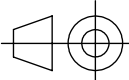
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA (Kg)
1	TFG_08_000	Retén	BUTYL	0.01

SECCIÓN A-A



0	CREACIÓN	01/06/2015	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos	
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS					
EDITADO ISSUED	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION		 Universidad Carlos III de Madrid	
	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL	<input type="checkbox"/> AS-BUILT			
	<input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING				
	NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado
	FECHA DATE	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos		
	FIRMA SIGN.	01/06/2015	01/06/2015		
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE Retén				ESCALA SCALE 2:1	HOJA SHEET 1
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº TFG_08_000				FORMATO FORMAT A3	REV. 0
Fichero / File:					

A	B	C	D
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL MASA (Kg)
1	TFG_09_000	Casquillo inferior	1.5810 (18NiCr5-4) 0.05
<div style="text-align: center;"></div>			
NOTAS: - Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados. - Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (μm). - La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales. - Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk.			
O	CREACIÓN	01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla Jose Antonio Calvo Ramos
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION	FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN COMPROBADO CHECKED APROBADO APPROVED
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS			
EDITADO ISSUED	<div><div><input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION</div><div><input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING</div><div><input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION</div><div><input type="checkbox"/> AS-BUILT</div></div>		 Universidad Carlos III de Madrid
	<div><div>NOMBRE NAME Sergio Gómez Moratalla</div><div>FECHA DATE 01/06/2016</div><div>FIRMA SIGN.</div></div> <div><div>COMPROBADO CHECKED Jose Antonio Calvo Ramos</div><div>FECHA DATE 01/06/2016</div></div> <div><div>APROBADO APPROVED</div></div>	PROJECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado	
TITULO DEL PLANO IDRAWING TITLE Casquillo inferior			<div>ESCALA SCALE 1:1</div> <div>HOJA SHEET 1 DE OF 1</div>
Nº DEL PLANO IDRAWING Nº TFG_09_000			<div>FORMATO FORMAT A4</div> <div>REV. 0</div>
Fichero / File:			
A	B	C	D

A		B		C		D			
Nº.	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN		MATERIAL	MASA (Kg)				
1	TFG_10_000	Reductor de área		BUTYL	0.10				
									
<p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las dimensiones y tolerancias geométricas se encuentran expresadas en mm. Los valores angulares se encuentran expresados en grados. - Los valores de rugosidad se encuentran expresados en micras (µm). - La pieza deberá estar exenta de rebabas, fisuras, grietas, poros y otros defectos funcionales. - Tolerancias generales de acuerdo con ISO 2768-mk. 									
0	CREACIÓN		01/06/2016	Sergio Gómez Moratalla	Jose Antonio Calvo Ramos				
REV.	DESCRIPCION DESCRIPTION		FECHA DATE	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED			
MODIFICACIONES / MODIFICATIONS									
5	EDITADO ISSUED <input type="checkbox"/> PARA INFORMACION FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> PARA APROBACION FOR APPROVAL <input checked="" type="checkbox"/> PARA PETICION DE OFERTA-COMPRA FOR ASKING QUOTATION-PURCHASING	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> AS-BUILT		 Universidad Carlos III de Madrid					
			NOMBRE NAME	DIBUJADO DRAWN	COMPROBADO CHECKED	APROBADO APPROVED	PROYECTO / PROJECT Trabajo de Fin de Grado		
			FECHA DATE	01/06/2016	01/06/2016				
			FIRMA SIGN.						
TITULO DEL PLANO / DRAWING TITLE					ESCALA SCALE	HOJA SHEET	1		
Reductor de área					1:3	DE OF	1		
Nº DEL PLANO / DRAWING Nº					FORMATO FORMAT	REV.			
TFG_10_000					A4	0			
Fichero / File:									